

**Analyse von Texturparametern in Luftbildern und
Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe
zur Identifizierung von Waldtypen**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg im Breisgau

vorgelegt von
Said Alim Masumy
aus Kabul/Afghanistan

1978

Analyse von Texturparametern in Luftbildern und Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe zur Identifizierung von Waldtypen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg im Breisgau



vorgelegt von
Said Alim Masumy
aus Kabul /Afghanistan

1978

Dekan	:	Prof. Dr. H.J. Braun
Leiter der Arbeit	:	Prof. Dr. G. Hildebrandt
Referent	:	Prof. Dr. G. Hildebrandt
Korreferent	:	Prof. Dr. Dr. h. c. M. Proden

Tag der Verkündigung des Prüfungsergebnisses: 18. 12. 1978

"Gedruckt mit Unterstützung der
Friedrich-Ebert-Stiftung"



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. ÜBER BISHERIGE ARBEITEN ZUR TEXTURANALYSE IN LUFTBILDERN	4
3. THEMAERLÄUTERUNG	13
3.1 Die Textur	14
3.2 Texturbeeinflussende Faktoren	16
3.3 Bestimmungs- und Beschreibungsmethoden der Textur	26
4. UNTERSUCHUNG ZUR AUTOMATISCHEN IDENTIFIZIERUNG VON FORSTLICHEN OBJEKTEN AUF LUFTBILDERN UND MULTISPEKTRAL-SCANNER-AUFZEICHNUNGEN DURCH QUANTITATIVE ANALYSE DER TEXTUR- UND FARBPARA- METER	35
4.1 Die verwandten Luftbilder und andere Fern- erkundungsmittel	35
4.2 Die Untersuchungsobjekte, ihre Auswahl und Beschreibung	36
4.3 Standortsbeschreibung des Untersuchungs- gebietes	45
4.4 Terrestrische Arbeiten	49
4.5 Messung der ausgewählten Untersuchungsbe- stände durch das digitale Bildauswerte- system im FIM Karlsruhe	53
4.51 Bildverarbeitungssystem	53
4.52 Vorbereitung und Durchführung der Messun- gen	54
5. BESCHREIBUNG DER IN DIESER ARBEIT ANGEWANDTEN TEXTURPARAMETER	61
5.1 Angabe der angewandten Texturparameter	61
5.2 Angabe der angewandten Steuerparameter	61
5.3 Diskussion der Textur- und Steuerpara- meter	61
5.4 Eigenschaften und Funktion der einzelnen Texturparameter	64

	Seite
6. PROGRAMMBESCHREIBUNG	69
6.1 Hauptprogramm	69
6.2 Unterprogramme	70
6.3 Rechnerprotokoll und Druckerprotokolle	75
6.31 Rechnerprotokoll	75
6.32 Druckerprotokolle	75
7. AUSWERTUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	78
7.1 Analyse und Diskussion der Ergebnisse zur Charakterisierung der Texturmerkmale zum Zwecke der Identifizierung von Waldtypen unterschiedlicher Art und Altersklasse	78
7.11 Analyse der Textur an Hand von Infrarotfarbaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. mit neutralem Filter	78
7.12 Analyse der Farbkomponenten zur Charakterisierung der Texturmerkmale an Hand von Infrarotfarbaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. mit Farbfiltern (rot, grün und blau)	98
7.13 Analyse der Textur an Hand von multispektralen Scanneraufzeichnungen aus der Flughöhe ca. 1000 m ü.G. in verschiedenen Kanälen	111
7.2 Auswirkung des Maßstabs im Hinblick auf die Texturaussagefähigkeit bei den untersuchten Waldbeständen	120
7.21 Analyse der Textur bei den Testbeständen an Hand von Luftbildern (panchromatischen und Infrarotfarb-Aufnahmen) unterschiedlicher Maßstäbe	120
7.22 Analyse der Textur bei den Testbeständen an Hand von Multispektral-Scanneraufzeichnungen (CCT-Bänder) unterschiedlicher Maßstäbe	132
7.23 Vergleichende Texturanalyse zwischen den Untersuchungsbeständen, die sowohl auf den Luftbildern als auch auf den multispektralen Scanneraufzeichnungen in verschiedenen Maßstäben ausgewertet wurden	135
7.3 Einflüsse der Bildortabhängigkeit auf die Texturmerkmale	138

III

	Seite
7.31 Einige Vorschläge zur Minderung der bildortsabhängigen Variabilität der Texturmerkmale	151
8. ZUSAMMENFASSUNG	153
9. LITERATURVERZEICHNIS	158



Digitized by the Internet Archive
in 2026

V O R W O R T

Durch die Teilnahme an den von Herrn Prof. Dr. G. Hildebrandt gebotenen Vorlesungen und Übungen über das Fachgebiet Photogrammetrie bzw. Luftbildmessung und -interpretation während meines Studiums in Freiburg wurde es mir ermöglicht, die allgemeinen Grundkenntnisse über die genannten Fachdisziplinen vor allem für forstwirtschaftliche Zwecke zu erwerben.

Mein besonderes Interesse an den genannten Fachgebieten wurde mir dann bewußt, als ich meine Diplomarbeit über die Holzvorratsermittlung mit Hilfe der Luftbilder bei Prof. Dr. G. Hildebrandt anfertigte und dabei die Gelegenheit hatte, die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Luftbilder und anderer Fernerkundungsaufzeichnungen in zahlreichen Fachwissenschaften - insbesondere die großen Vorteile des Luftbildeinsatzes in den unerschlossenen Gebieten der Erde zum Zwecke der Erd- erkundung - kennenzulernen. Dies alles veranlaßte mich, nach dem Abschluß meines Studiums sofort mit einer größeren wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen einer Inauguraldissertation auf dem Gebiet der Luftbildmessung und -interpretation fortzufahren.

Herrn Prof. Dr. G. Hildebrandt danke ich recht herzlich, daß er für meine Interessen Verständnis zeigte und mir ein Thema zur Verarbeitung der Dissertation sowie einen Arbeitsplatz in seiner Abteilung einräumte. Ihm danke ich weiterhin für seine sorgfältige Betreuung und Beratung, die sehr wichtig und unerläßlich für die Durchführung und Abschluß der vorliegenden Arbeit waren.

Herrn Prof. Dr. Ing. H. Kazmierczak danke ich dafür, daß er es mir ermöglicht hat, die experimentellen Arbeiten mit Hilfe

des digitalen Bildverarbeitungssystems im Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung (FIM) in Karlsruhe durchzuführen.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Diplom Ing. B. Bargel bedanken für seine Beratung und Hilfe bei der Erstellung der in dieser Arbeit benötigten Fortran - Programme sowie bei der Durchführung der experimentellen Arbeiten.

Der Friedrich-Ebert-Stiftung möchte ich meinen Dank aussprechen für die Unterstützung während meines Studiums und daß sie die Arbeit durch die Vergabe eines Stipendiums finanziert hat.

Dankend erwähnen möchte ich Herrn Georg Pfeifer, Geograph, für die Durchsicht und Korrektur und Frau Isolde Ros für die sorgfältige Reinschrift der Arbeit.

Herr Prof. Dr. Dr. h. c. M. Prodan hat mich während meines Studiums unterstützt. Seine menschliche und freundschaftliche Hilfe hat mir viel bedeutet.

Danken möchte ich auch allen anderen Personen und Kollegen, die mir direkt oder indirekt auf irgendeine Weise geholfen haben.

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. M. Prodan danke ich dafür, daß er die experimentellen Arbeiten mit Hilfe

1. EINLEITUNG

Die Verwendung von Luftbildern als Informationsmittel begann bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Bald erkannte man, daß die Luftbilder als wichtige Informationsträger zum Zwecke der Erderkundung ein besonders wertvolles Hilfsmittel darstellen.

Die Entwicklung und Fortschritte der Technik im Bereich der Luft- und Raumfahrt sowie die raschen technischen Fortschritte auf dem Gebiet der Optik und die gleichzeitige Entwicklung hochauflösender Sensoren (Filme und später elektronische Sensoren) ermöglichte den effektiven Einsatz von Luftbildern und anderen Fernerkundungsmitteln in zahlreichen zivilen erdwissenschaftlichen Aufgabenbereichen (Topographie, Kartographie, Geologie, Geographie, Archäologie, Meteorologie, Meeres- und Gewässerkunde sowie Vegetationskunde, Land- und Forstwirtschaft). Seit langem, nämlich seit Beginn der 20er Jahre werden dabei Luftbilder gerade auch für forstwirtschaftliche Aufgaben, besonders im Bereich der Forsteinrichtung, der Forstvermessung, der großräumigen Waldinventuren, der Standorterkundung und des Forstschutzes regelmäßig eingesetzt (vgl. z.B. Baumann 1957, Hildebrandt 1956, 1973 u.a.).

Aus den folgenden Gründen ist es notwendig neben den herkömmlichen Methoden der visuellen Luftbildinterpretation Methoden zur automatisierten oder interaktiven Luftbildauswertung zu entwickeln und in der Zukunft weitergehend, als es heute möglich ist und geschieht, für Aufgaben der verschiedenen Fachwissenschaften anzuwenden:

- 1.) Offensichtlich enthalten die Luftbilder mehr Informationen, als derzeit durch die herkömmliche analoge Methode ausgewertet werden können. Eine wesentlich bessere Ausnutzung der Fernerkundungsdaten ist aber nur durch den vermehrten Einsatz automatisierter bzw. interaktiver Bildverarbeitungsverfahren zu erreichen.

- 2.) Die Fülle der zahlreich anfallenden Fernerkundungsdaten durch den Einsatz von Flugzeugen, Satelliten und anderen Flugkörpern zum Zwecke erdwissenschaftlicher Forschungen erfordert den Einsatz maschineller Verfahren zur Bildanalyse.
- 3.) Die visuellen Methoden der Luftbildinterpretation erfolgen meistens qualitativ und subjektiv. Dabei kann der sachverständige Interpret einerseits zwar zum Vorteil der Auswertung seine Erfahrungen und seinen Sachverstand voll zum Einsatz bringen, er stößt aber andererseits an physische Grenzen bezüglich der Erkennbarkeit des Unterscheidungsvermögens (z.B. von Farbtönen) der Wiedererkennung und Zuordnung bestimmter Bildpunkteigenschaften, der Kombinationsfähigkeit bei multispektralen Bildinformationen usw.
- 4.) Unbeschadet der o.s. Vorteile visueller Interpretation, die für bestimmte Interpretationsaufgaben unentbehrlich sind und damit auch die herkömmliche visuelle sachverständige Interpretation unentbehrlich machen, kann diese bei anderen Interpretationsaufgaben zu systematischen, als auch zu zufälligen Fehlern führen. Die Größe der dabei auftretenden Fehler hängt von der Erfahrung und Fähigkeit der Interpreten, sowie von den jeweiligen Interpretationsaufgaben ab.
- 5.) Visuelle Bildinterpretationen sind in der Mehrzahl der Fälle zeitaufwendig und damit auch meist kostenaufwendig. Dies liegt in der Natur der visuellen Bildauswertung. Hinzu kommt, daß sie bei längeren Arbeiten zu störenden Ermüdungserscheinungen führt:

"Durch das stereoskopische Sehen und durch die starke Lichtintensität vom Beleuchtungstisch werden die Augen stark belastet und müde. Dadurch wird die Auswertung ungenauer" (Masumy 1974).

- 6.) Durch automatisierte Bildverarbeitung, dort wo es die Interpretationsaufgabe erlaubt, werden die Fachkräfte von routinemäßigen und mühsamen Auswertevorgängen abgelöst. Sie können dafür für viel wichtigere und anspruchsvollere Aufgabenbereiche, nämlich für Analyse und Interpretation der Auswertedaten eingesetzt werden.

Dies alles führt zu der Einsicht, daß für zahlreiche, auch für bestimmte forstwirtschaftliche Aufgaben der Auswertung von Luftbildern und anderen Fernerkundungsaufzeichnungen die automatisierte Bildinterpretation wesentliche Vorteile erwarten läßt, ja sogar, daß sie für manche wissenschaftlichen oder praktischen Arbeiten unentbehrlich sein wird.

2. ÜBER BISHERIGE ARBEITEN ZUR TEXTURANALYSE IN LUFTBILDERN.

Untersuchungen zur Automation der Bildauswertung bzw. als wichtiger Teilaspekt dazu, zur Identifikation von abgebildeten Objekten aufgrund ihrer Abbildungstextur, sind erst in den letzten zwei Jahrzehnten zu finden. Als einen Vorläufer dazu kann man eine Arbeit von Kusnezow (zitiert nach Troll 1943) ansehen. Kusnezow führte mit einem Mikrophotometer linienweise Dichtemessungen in Luftbildern durch, und versuchte die Form der entstandenen Densitogramme u.a. auf die verschiedenen von ihm gemessenen Walddtypen zurückzuführen.

Neben Arbeiten zur Theorie und den Grundlagen der optischen Zeichen- und Objekterkennung in Bildvorlagen (z.B. Meyer-Eppler und Darius 1956, Meyer-Eppler 1959....., Kritikos 1971, Bargel 1977) sind seit den 60er Jahren mehrere Untersuchungen durchgeführt worden, die klären sollten, ob mit Hilfe texturbeschreibender Parameter bestimmte Objekte z.B. Ländnutzungsformen, Wald- oder Siedlungstypen erkannt und gegenseitig abgegrenzt werden können. Soweit es sich dabei um die Auswertung von Luftbildern handelte ist eine Abtastung der Bildvorlage und densitometrische oder / und colorimetrische Charakterisierung und damit Digitalisierung von Bildpunkten entlang von Linien oder auf Meßflächen die Grundlage für solche Untersuchungen.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit gibt die Übersicht 1 eine Reihe von Hinweisen auf bisher untersuchte Objekte und für deren Texturbeschreibung bzw. Unterscheidung im Bild verwendeter Texturparameter.

Über die in der Übersicht 1 genannten früheren Arbeiten referierten bereits Akça (1969/70 Seite 4 - 7) bzw. Tzschupke (1974 Seite 84 - 92). Zu einigen der jüngeren Arbeiten werden die folgenden Inhaltshinweise gegeben:

Übersicht 1: Überblick über bisherige Arbeiten auf dem Gebiet der Texturanalyse

Autor (Jahr)	Objekte	vorwiegend verwendete Parameter
Ray und Fischer (1960)	geolog. Formationen	mittlere Dichte, Frequenz der Dichteunterschiede
Nakajima u. Hasegawa (1962)	Walddtypen	mittlere Dichte, mittlere Amplitude und Frequenz von Densitometerkurven
Nakajima (1964 u. 1965)	Walddtypen	
Rosenfeld (1962 u. 1965) Rosenfeld und Goldstein (1964)	Wohngebiete, Waldflächen, landwirtschaftliche Nutzflächen u.a.	mittlere Dichte und Frequenz des Dichtekontrastes
Doverspike, Flynn und Heller (1965)	Landnutzungsformen (Ndh, Lbh, Schotterstraßen, Flughafenrollbahnen, befestigte Straßen, Wasser- und Brachflächen)	Farbdichte, Größe und Form der Meßfläche; später (Heller 1965) Frequenz und Amplitude der Densogramme
Maurer (1965)	landwirtschaftl. Kulturen	Farb- und Helligkeitswerte
Kilchenmann (1965)	Vegetationstypen	Helligkeits- und Farbwerte, Streuung der Meßwerte sowie die Diskriminanzanalyse
Steiner, Maurer, Kilchenmann (1966)	landwirtschaftl. Kulturformen	Farbmittelwerte, Variation der Farbwerte und statistischer Trennfunktion
Baumberger (1969)	landwirtschaftl. Kulturen	Farb- und Helligkeitswerte sowie Diskriminanzanalyse

Autor (Jahr)	Objekte	Vorwiegend verwendete Parameter
Akça (1969/70)	Waldbestände, Ackerflächen, Straßen sowie Wasser und Schattenflächen	mittlere Dichte, mittlere quadratische Abweichung, mittlerer Ortsfrequenz der Dichteprofile und verschiedener Diskriminanzfunktionen.
Wolff (1969)	Fichten- und Kiefernbestände	Interpretation von Mikrodensitogrammen (im Hinblick auf Kronenzahl, Stammdurchmesser usw.)
Perlwitz (1970)	Kiefernbestände	Stereohöhe (Wuchshöhe) Farb- und Helligkeitswerte, Diskriminanzanalyse
Schoedler (1973)	Kulturen der Obst- u. Gartenlandschaft	Grauton-Raumabhängigkeits-Matrizen
Haralick, Shanmugam, Dinstein (1973)	Ländnutzungsformen	Farb- und Dichtewerte, Varianz der Dichtewerte, mittlere Dichtefrequenz, mittlere Länge und Anzahl der hellen Stellen, Formquotienten sowie linear- und quadratische Diskriminanzfunktionen
Tzschupke (1974)	Kiefern und Lärchen	statistische Erfassung von Grautonwertmatrizen.
Galloway (1975)	Gebietstypen	Fouriespektrum, Grauwertstatistiken zweiter Ordnung, Statistik der Grauwertdifferenzen, lineare Grauwertstatistik.
Weszka, Dyer, Rosenfeld (1976)	Ländnutzungstypen	arithmetisches Mittel der Dichtewerte, mittlere quadratische Abweichung, mittlere Dichtefrequenz
Schäde (1976)	Fichten- und Buchenaltbestände	

noch Übersicht 1

Autor	Objekte	vorwiegend verwendete Parameter
Klesen (1976)	Plantagen- und Spalierpflanzen (Weinreben, Pappeln, Obstbäume)	Helligkeits- und Farbwerte, mittlere Ortsfrequenz, durchschnittliche Amplitude und mittlere Helligkeit.
Kefler (1977)	Kiefernbestände	arithmetisches Mittel der Dichtewerte, Standardabweichung, Minima und Maxima der Dichtewerte, Häufigkeitsverteilung mittlere Ortsfrequenz, mittlere Anzahl und Länge der hellen Stellen.
Bargel (1977)	Fichten- und Buchenbestände sowie Siedlungstypen	Auswertung von Grauwertdaten, Auswertung von Grauwertgradienten. Bewertung von Konturlinien und Fourieranalyse
Nasser Al-Homaid (1978)	Brachflächen	Interpretation von Mikrodensitogrammen, Häufigkeitsverteilung und Varianz von Intensitätswerten, Farbanteile

Akça (1969/70) untersuchte junge, mittelalte und alte Buchen- und Fichtenbestände sowie Straßen- und Ackerflächen auf panchromatischen Luftbildern mittels mikrodensitometrischen Messungen. Mit Hilfe der mittleren Dichte, mittleren quadratischen Abweichung und mittleren Ortsfrequenz der Dichteprofile und verschiedener Diskriminanzfunktionen konnte er mit einer Genauigkeit (je nach Objekt) zwischen 87 und 100 % die verschiedenen Objekte klassifizieren.

Wolff (1969) und Perlwitz (1970) ging es um die Frage, ob aus mikrodensitometrisch ermittelten Texturparametern Aussagen über Kronenzahlen (Baumanzahlen) und das Verhältnis von Kronenbreiten und Stammdurchmesser (in Brusthöhe = 1,3 m über dem Boden) gemacht werden können. Sie untersuchten diese Fragen für Fichten und Kiefernbestände. Sie fanden dabei recht straffe Korrelationen zwischen der Basisbreite voll getroffener Baumkronen und dem zugehörigen Brusthöhendurchmesser, sowie zwischen der im Densitogramm feststellbaren Kronenzahl und der tatsächlichen Stammzahl je Hektar im Bestand.

Schoedler (1973) versuchte acht verschiedene Haupt-Kulturen der Obst- und Gartenlandschaft im Unterwallis auf Schwarzweiß- und Farbluftbildern zu identifizieren. Dabei wurde neben der stereoskopisch erfaßten Höhenstruktur, auch die quantitative Erfassung der Helligkeit und der Textur der Testobjekte mittels Densitometer bzw. Mikrodensitometer herangezogen. Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse wurden die MerErgebnisse verarbeitet.

"Bei der Dichtemessung mit dem Densitometer zeigt der Farbfilm wesentlich bessere Resultate als der Schwarzweiß-Film, der mit dieser Methode allein kaum je eine befriedigende Separierung liefern kann. Fügt man zu den Dichtemessungen als weiteren Parameter die Wuchshöhe jeder Kultur hinzu, so kann die Separierung wesentlich verbessert werden (im Durchschnitt um 10 - 20 % für die untersuchten Flugdaten). Der Versuch,

die Textur mit einem Mikrodensitometer quantitativ zu erfassen, ergab vielversprechende Ansätze. Jede Kultur zeigt, hinsichtlich Amplitude und Frequenz ein charakteristisches Kurvenbild, das sich viel leichter identifizieren und definieren läßt, als eine verbale Umschreibung der Textur. Vor allem die Baumkulturen lassen sich mit dieser Methode besser unterscheiden als mit den Densitometermessungen" (Schoedler 1973).

Haralick, Shanmugam, Dinstein (1973) berichteten, daß sie mittels statistischer Methoden "leicht errechenbare" Texturmerkmale gewinnen konnten, mit denen sie auf Luftbildern und Satellitenaufzeichnungen (Landsat - MSS - imagery) verschiedene Landnutzungsarten klassifizieren konnten. Die von Ihnen verwendeten Texturparameter basieren auf räumliche Grautonabhängigkeiten (Gray tone spatial dependencies). In unabhängigen Testserien erzielten die Autoren Identifizierungsgenauigkeiten für Landnutzungsklassen von 82 % bei Auswertung von Luftbildern 1 : 20 000 und von 83 % bei der Auswertung von Landsat-Bildern. Eine ebenfalls durchgeführte Auswertung von Mikrophotographien für verschiedene Arten Sandstein brachte sogar 89 % richtige Identifizierung der Arten.

Tzschupke (1974) versucht anhand von Infrarot-Farbluftbildern die automatische Identifizierung verschiedener Waldbestände durch quantitative Beschreibung von Farbe und Textur. Dabei erfasste er die Farb- und Dichtewerte durch verschiedene digitale Meßverfahren. Als Texturparameter verwendete er die Varianz der Dichtewerte, die mittlere Dichtefrequenz, die mittlere Länge und Anzahl der hellen Stellen sowie die Formquotienten.

Nach Berechnung von linearen und quadratischen Diskriminanzfunktionen, konnte mit Hilfe von Farbwerten eine sehr genaue Unterscheidung zwischen den Kiefern- und Lärchenbeständen verschiedener Altersklassen erzielt werden.

Die mit einem Mikrodensitometer durchgeführten Farbmessungen bestätigten die Brauchbarkeit des Farbmeßverfahrens sowie die hohe Trennkraft der Bildfarbe zur Unterscheidung forstlich relevanter Objekte.

Mary M. Galloway (1975) führte Texturanalysen basierend auf der Länge gleicher Grauwerte bei verschiedenen Verlaufsrichtungen durch (grey level run lengths). Für verschiedene Landnutzungs- bzw. Vegetationsformen fand sie dabei charakteristische Grauwertverteilungen, sodaß sie glaubt folgern zu können: The "experimental results seem quite promising and indicate that further work should be done with different data sets. In addition, the run length functions should be used in conjunction with more sophisticated pattern classification techniques".

Weszka, Dyer und Rosenfeld (1976) untersuchten drei verschiedene Verfahren der Klassifizierung von Landnutzungsformen auf Grund ihrer Texturen. Einbezogen wurde das Verfahren der Fourier-Leistungs-Spektren (Fourier power spectrum), Auswertungen von Grauwertstatistiken zweiter Ordnung - bei der u.a. aus der Häufigkeit der in einer bestimmten Richtung vorkommenden bestimmten Grauwerten auf das untersuchte Objekt geschlossen wird - , verschiedene Formen der Statistik der Grauwertdifferenzen und wiederum die auch von Galloway benutzte "Grey Level Run Length Statistics." Sie fanden, daß die Fourier-Merkmale zu schlechteren Ergebnissen der Erkennung und Klassifizierung führten als die anderen o.a. Verfahren. Letztere brachten gleichwertige Ergebnisse.

Schade (1976) wies mittels densitometrischer Messungen bei gleichartigen Objekten (Altbestände von Fichten und Buchen) signifikante Texturunterschiede in Abhängigkeit von Bildort und Relief nach. Als Texturparameter verwendete er das arithmetische Mittel der Dichtewerte, die mittlere quadratische Abweichung und die mittlere Ortsfrequenz.

Klesen (1976) untersuchte verschiedene Plantagen - (Kiefern, Kirschen, Zwetschgen, Pappeln) und Spalierpflanzungen (die Rebsorten Müller-Thurgau, Ruländer und Spätburgunder) auf Infrarotfarbluftbildern mittels densitometrischer Messungen von Textur- und Farbparametern. An Hand von Texturparametern, insbesondere Farbparametern, konnte er 1) verschiedene Baumarten identifizieren und 2) teilweise eine Differenzierung zwischen den Baumarten gleicher Arten aber verschiedene Provenienzen oder Altersstufen erreichen.

"Hier erwies sich die Farbe als bester Trennparameter. Die Texturparameter mittlere Ortsfrequenz, durchschnittliche Amplitude und mittlere Helligkeit brachten nicht den gewünschten Erfolg. Dies ist hauptsächlich auf das benutzte Meßgerät, Densitometer Macbeth TD 102, zurückzuführen, da dessen kleinste Meßblende von 0,5 mm Durchmesser für diese Aufgabenstellung zu groß ist. Von den vorgenannten Texturparametern besaß die mittlere Helligkeit die höchste Trennkraft, dann die durchschnittliche Amplitude und zuletzt die mittlere Ortsfrequenz" (Klesen 1976).

Keßler (1977) untersuchte zwei unterschiedlich durchforstete Kiefernbestände auf IRC-Luftbildern und Scannersaufnahmen in zwei verschiedenen Maßstäben. Die Ergebnisse der mikrodensitometrischen Messungen ergaben Texturmerkmale, die ihm eine befriedigende Unterscheidung der verschiedenartig durchforsteten Bestände erlaubte. Ferner belegte er, daß die Texturerkennbarkeit der Kiefernbestände, wie erwartet, bei zunehmender Flughöhe abnehmen. Die folgenden Texturparameter wurden von ihm angewandt: Arithmetisches Mittel der Dichtewerte, Standardabweichung Minima und Maxima der Dichtewerte, Häufigkeitsverteilung, mittlere Ortsfrequenz, mittlere Anzahl und Länge der hellen Stellen.

Bargel (1977) untersuchte die Textur von homogenen Fichten- und Buchenbeständen sowie von verschiedenen Siedlungstypen auf panchromatischen Luftbildern. Die Untersuchung erfolgte

mittels eines interaktiven Bildverarbeitungssystems (IBIS). Die Auswertung von Bilddaten zur Ermittlung der Textur erstreckte sich dabei u.a. auf Bewertung von Grauwertdaten, Gradienten, Konturlinien und Fourier-Spektren.

"Für eine Grobunterscheidung beispielsweise zwischen den Objektklassen Wald und Siedlung liefern die Texturmerkmale aus allen Bereichen gute Ansatzmöglichkeiten.

Für weitere Trennung innerhalb einzelner Klassen aus dem Bereich der Forstwirtschaft zeigen sich negative Ergebnisse bei der Fourieranalyse und der Konturlinienauswertung. Die Merkmale, die aus den Grauwertdaten und differenzierten Bilddaten gewonnen werden, bieten dagegen (in Verbindung mit Multispektraldaten) für die Klassifikation feinstrukturierter Bildbereiche wie z.B. Waldgebiete gute Ansatzmöglichkeiten.

Bei der Trennung einzelner Siedlungstypen erweisen sich die Merkmale aus der Fourieranalyse und der Grauwertauswertung als nicht geeignet. Größere Bedeutung kommt hier (neben der Gradientenauswertung) der Linienanalyse zu" (Bargel 1977).

3. THEMAERLÄUTERUNG

Die vorliegende Untersuchung analysiert die Texturmerkmale von Waldbeständen auf Fernerkundungsaufzeichnungen verschiedener Art (Filme, Scanner) und-Maßstäbe. Dabei soll die Untersuchung des "gesicherten Informationsgehaltes"¹⁾ von Film und Scanneraufzeichnungen bei verschiedener Flughöhe und in Abhängigkeit vom Aufnahmewinkel (Bildortabhängigkeit) im Vordergrund stehen. Ferner besteht ein Interesse daran, im gleichen Zusammenhang die Abbildung der Untersuchungsobjekte bei unterschiedlichen Aufnahmezeiten (Beleuchtungsverhältnisse, phänologische Veränderungen) in die Untersuchung einzubeziehen. Letzteres kann als weiterführendes Problem für eine spätere Untersuchung vorbehalten werden.

Zur Verwirklichung des o.s. Untersuchungszieles soll an einer Reihe ausgewählter, typischer forstlicher Objekte die Frage geklärt werden, in welchem Maße sich mit kleiner werdendem Maßstab der Aufzeichnungen bei verschiedenen hochauflösenden Sensoren und an verschiedenen Bildorten die Textur-Informationen verändern und welche Textur-Informationen sich für das Objekt als "stabil" erweisen?

Es wird dabei gleichzeitig der Frage nachzugehen sein, wann die Verluste an Texturinformationen durch kleiner werdenden Maßstab so groß werden, daß dadurch die Differenzierungsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Waldtypen und deren Altersklasse gegebenenfalls auch verschiedener Zustände ein- und desselben Objekts, verloren gehen?

¹⁾ Als "gesicherten Informationsgehalt" werden im Vorstehenden jene Abbildungsmerkmale der Textur- bzw. Spektralsignaturen eines Objektes verstanden, die reproduzierbar sind, d.h. die unter den verschiedensten Aufnahmebedingungen bei beliebig vielen Wiederholungen mit großer Sicherheit immerwieder auftreten.

Die Untersuchungen sollen vorwiegend quantitativ - statistisch erfolgen und über Grauwertdaten aus den CCT's der MSS - Aufzeichnungen und schwarz-weiß- sowie IRC-Luftbildern durch das digitale Bildverarbeitungssystem (PDP 11/45) im Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung (FIM) in Karlsruhe erfolgen.

Ergänzend hierzu sollen die gleichen Testobjekte in den Infrarotfarbluftbildern bezüglich Farbanteilen und entsprechenden Texturparametern untersucht werden.

Da das Kernziel der vorliegenden Untersuchungen die Textur ist, wird in den folgenden Abschnitten der Begriff der Textur näher bestimmt und über die Merkmale die die Textur beeinflussen, diskutiert.

3.1 Die Textur

Die Erfahrung der visuellen Luftbildinterpretation lehrt, daß der Textur der Abbildungsflächen für die Erkennung von Objekten sehr oft besondere Bedeutung zukommt. Tönung und Textur sind die zwei wichtigsten Merkmale der Bildgestalten,²⁾ die benötigt werden, um verschiedene Objekte auf Luftbildern unterscheiden und jeweils identifizieren zu können. Tönung und Textur stehen dabei in einem sehr engen Zusammenhang. Sie beeinflussen sich gegenseitig. Dabei dominiert je nach Art und Zusammensetzung der Bildgestalt für die Identifizierung

2) "Jedes Luftbild läßt sich in eine endliche Anzahl von Flächen bestimmter Tönung ("Tönungsflächen") aufgliedern Wir "sehen" im Luftbild nicht Tönungsflächen, sondern Gestalten. Da es sich hier um das Auffassen von Bildern handelt, sprechen wir zweckmäßig von Bildgestalten. Die wesentlichsten Merkmale solcher Bildgestalten sind, daß sie sich von ihrer Umgebung abheben, daß ihre Einzelheiten als zusammengehörig aufgefaßt werden, und daß sie transponierbar sind. Eine Bildgestalt kann aus einer Tönungsfläche oder aus mehreren Tönungsflächen bestehen" (Schmidt-Falkenberg 1967).

des Objektes einmal die Textur und ein anderesmal die Tönung.

Die Tönung einer Bildgestalt ergibt sich als integraler Wert aller (oder der Mehrzahl) Grau- bzw. Farbtöne der sie bildenden Auflösungselemente.

Die Textur dagegen entsteht durch die Art der räumlichen und geometrischen Verteilung der verschieden getönten Auflösungselemente einer Bildgestalt.

Hasalick (1973) beschreibt die Tönung und die Textur folgendermaßen: "The concept of tone is based on the varying shades of gray of resolution cells in a photographic image, while texture is concerned with the spatial (statistical) distribution of gray tones. Texture and tone are not independent concepts; rather, they bear an inextricable relationship to one another very much like the relationship between a particle and a wave. Context, texture, and tone are always present in the image, although at times one property can dominate the other" (R.M. Hasalick, K. Shanmugam, and I. Dinstein 1973). So ähnliche Definitionen gaben auch andere Autoren;

Rosenfeld (1962) z.B. definierte die Textur als lokale Verteilung der Dichte und Dichtekontraste, da sich Texturen aus den feinen Variationen des Grautons, bzw. der Farbdichten innerhalb eines Objektes ergeben.

"Texturen ergeben sich aus Variationen des Grautones oder des Farbtones innerhalb von Bildgestalten" (Steiner 1961).

Akça (1970) definiert die Textur als mosaikartig zusammengesetzte Tönungsflächen, die entstehen, wenn der Bildmaßstab so klein wird, daß Formen oder Details der einzelnen Objekte bzw. Objektkomplexe auf dem Luftbild wegen der Unterschreitung der Auflösungsgrenze nicht mehr erkennbar sind.

Nach Meienberg (1966) unterliegen alle Objekte (Formelemente) einer

Reihe von Kontrastübertragungsfunktionen, die je nach Detailgröße in Makro- und Mikroabbildungsbereiche eingeteilt werden. Alle Formelemente, deren Detailgröße gleich oder kleiner als 0,5 mm bzw. deren Ortsfrequenz größer als 1 Linie/mm ist, fallen in den Mikrobereich und werden von ihm Feinstrukturen genannt. Feinstrukturen werden im allgemeinen durch ihre Formaspekte (Form, Größe, räumliche Orientierung, Verteilung) und die Tönungskontraste gekennzeichnet.

Steiner (1961) unterteilt die Feinstrukturen nach der Form in

1. Linienstrukturen = Feinstruktur, die aus Linien oder Streifen gebildet werden,
2. Punktstrukturen = Feinstrukturen, die aus mehr oder weniger kreisförmigen Komponenten geringer Dimension bestehen,
3. Fleckenstrukturen = Feinstrukturen, die aus größeren Komponenten ohne regelmäßige geometrische Form zusammengesetzt sind.

Eine systematische Zusammenstellung von Texturen (Kleinstmustern) hält Cazabat (1969), zitiert bei Schneider 1974, für nützlich. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die von ihm zusammengestellten Texturmuster.

Haralick (1973) unterteilt die Texturen nach ihrer Form folgendermaßen: "Texture can be evaluated as being fine, coarse, or smooth, rippled, mottled, irregular, or lineated".

3.2 Texturbeeinflussende Faktoren:

Die Textur eines jeden Abbildungsobjektes ist einer Reihe von Einflüssen und Abhängigkeiten unterworfen, diese Abhängigkeiten können in der Natur der Objekte liegen, oder sie kön-

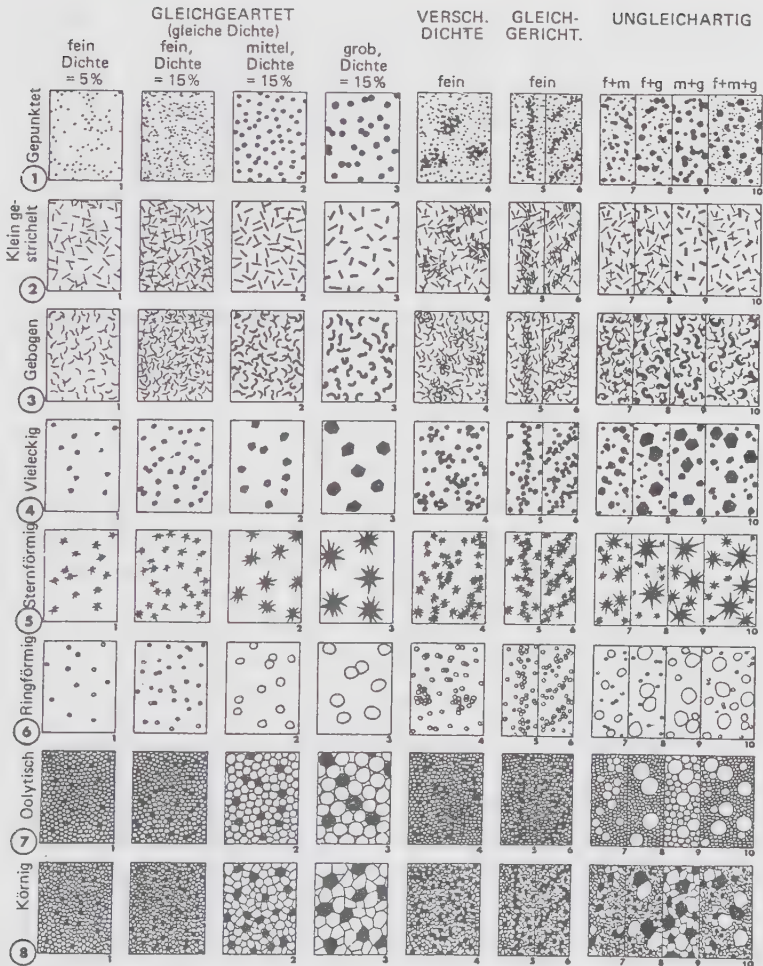


Abbildung 1: Systematische Zusammenstellung von Texturmustern. Nach Cazabat, 1969.

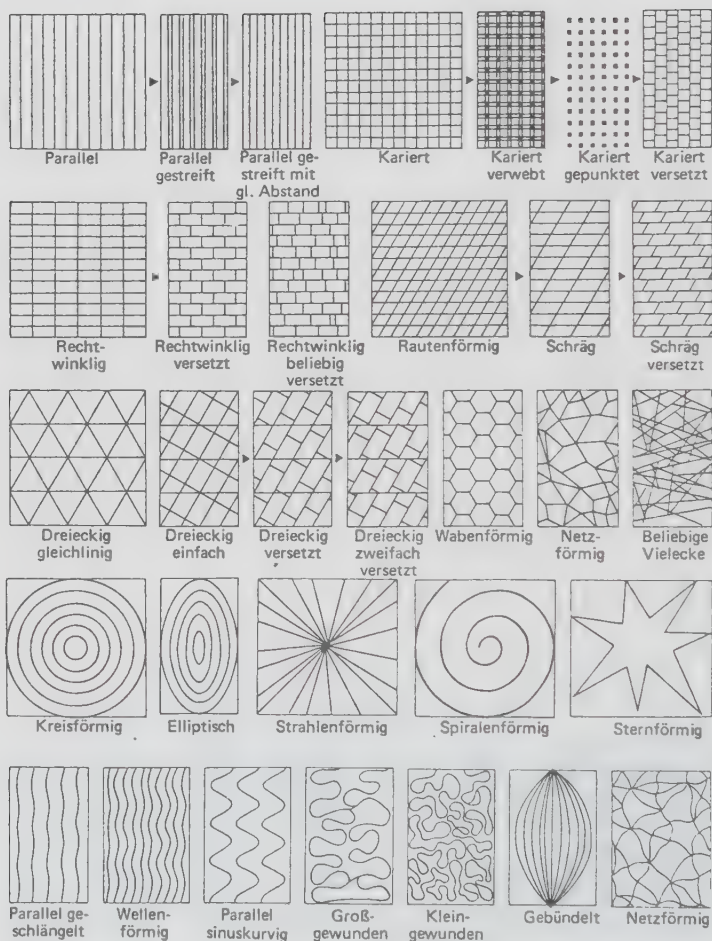


Abbildung 2: Systemetische Zusammenstellung von Texturmustern, Nach Cazabat, 1969

nen durch das Gelände und die Umwelt bedingt sein, aber auch durch optische und photographische Prozesse eintreten.

1.) Die objektbedingten Einflüsse:

Ob die Textur einer Bildgestalt fein, grob, rau, unregelmäßig, linear usw. ist, hängt weitgehend von der Form, der Größe, der Dichte und der räumlichen Verteilung sowie den einheitlichen oder verschiedenartigen spektralen Reflexionseigenschaften der die Objektoberfläche in der Natur bildenden einzelnen Elementen ab, ferner in vielen Fällen von der Art und dem Ausmaß der vertikalen Gliederung der Objektfläche, die wiederum texturbestimmende Schattenmuster und Kontraste hervorrufen.

Bei forstlichen Objekten, im wesentlichen also bei den verschiedenen Waldbeständen, werden die letztgenannten Faktoren neben dem Alter bzw. Altersaufbau und bestimmten Standorteinflüssen durch waldbauliche Maßnahmen sehr stark geprägt:

- bei der Bestandesbegründung durch die Wahl und die Anordnung des Pflanzenverbandes oder die Art und Verteilung der Mischbaumarten usw.
- im Pflegealter der Bestände durch die Art, Stärke und den Zeitabstand der Durchforstung
- im hiebsreifen Stadium durch die Art, und räumliche Verteilung der Endnützungshiebe (Schirmschlag, Femelschlag usw).

Wesentlichen Einfluß hat natürlich auch die Bewirtschaftungsform im Ganzen. So zeigen Plenterwälder mit ihrer starken vertikalen Gliederung eine andere Bildtextur als geschlossene Bestände des schlagweisen Hochwaldes; auch Mittelwaldbestände, Bestände im Überhaltsbetrieb u.a. weisen typische Texturmerkmale in Abhängigkeit von der waldbaulichen Behandlung auf.

Ist das Objekt, welches als Bildgestalt im Luftbild gesehen und interpretiert wird aus einzelnen, unterschiedlich reflektierenden Elementen zusammengesetzt, so bestimmen die unterschiedlichen spektralen Reflexionseigenschaften dieser Elemente auch die Textur der Bildgestalt sehr wesentlich mit. Für Waldobjekte gilt dies in besonderem Maße bei Mischbeständen, wenn Baumarten mit unterschiedlichem, spektralem Reflexionsverhalten im Bestand vorkommen.

Auch die in vielen Fällen typischen Schattenmuster sind letztlich das Ergebnis unterschiedlich reflektierender einzelner Elemente der Objekte - nämlich besonnener und beschatteter - Kronenteile bzw. Bestandesparten.

In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, daß die Objekte der Erdoberfläche - sei es z.B. ein Blatt oder eine Baumkrone oder Bestandeskronensch - das eingestrahlte Licht in unterschiedlicher, jeweils jedoch objektspezifischer Weise, reflektieren. Bei Aufnahmen in einem geeigneten Spektralbereich oder bei bestimmten Kanalkombinationen ist es dadurch bekanntlich erst möglich mit Mitteln der Fernerkundung verschiedenartige Objekte, so z.B. auch unterschiedliche Waldbestände als verschiedenartige Bildgestalten zu erkennen.

Über die spektralen Reflexionseigenschaften der Vegetation - soweit diese heute bekannt sind - hat kürzlich Hildebrandt (1976) zusammenfassend berichtet. Hierauf wird verwiesen.

Auf Grund neuer Ergebnisse von Reflexionsmessungen in Situ berichteten Kadro und Fischer (1976) folgendermaßen:

"Die untersuchten Vegetationstypen reflektieren die einfallende Strahlung (Sonnen- und Himmels-Strahlung) in den verschiedenen Spektralbereichen zwischen 0,35 und 1,1 Mm mit unterschiedlichen Intensitäten. Das Reflexionsverhalten der verschiedenen Vegetationsobjekte wird dabei vom phänologischen Zustand der Pflanzen sowie von kulturtechnischen Gegebenheiten beeinflusst und erweist sich erwartungsgemäß als abhängig von den Beobachtungsrichtungen, den Einstrahlungsrichtungen und von atmosphärischen Bedingungen."

2.) Geländerrelief und umweltbedingte Einflüsse

- Geländebeleuchtung: Die Zusammensetzung, Art und Intensität der Beleuchtung bestimmt - wie bei jeder Photographie - maßgeblich das Erscheinungsbild der Gegenstände im Luftbild.

Das Gelände wird von direktem Sonnenlicht und diffusem Himmelslicht beleuchtet. Ein Teil des Lichtes wird vom Boden bzw. vom Objekt absorbiert, der Rest wird reflektiert und erreicht in einer - durch die Atmosphäre - mehr oder weniger stark veränderten Form, die Luftbild-Kammer und belichtet den Film.

Sowohl das von der Sonne ausgestrahlte Licht, als auch das vom Objekt reflektierte Licht werden durch die Atmosphäre geschwächt und in seiner spektralen Zusammensetzung ungleichmäßig verändert.

Bekanntlich ist die direkte Sonnenstrahlung je nach Tages-, Jahreszeit und geographischer Breite sehr unterschiedlich. Sie bewirkt den Schattenwurf (Schlagschatten), der sich entweder infolge des hohen Kontrastes und der Verdunkelung der Objekte störend oder aber als Interpretationshilfe durch die Erhöhung der Plastizität des Geländes bzw. durch die Verursachung sehr spezifischer Schattenmuster (shadow pattern) auswirkt.

Viele Autoren u.a. in der schwedischen Veröffentlichung Kommitten för Skoglig, Fotogrammetrie 1955, Baumann 1957, Meienberg 1966, Gierloff-Emden 1970 haben mehrfach die Bedeutung und Wichtigkeit des Schattenwurfs unterstrichen (vgl. Abbildungen 3 und 4). Die direkte Sonnenstrahlung ist gerichtet und wird deshalb am Boden entsprechend dem Sonnenstand bevorzugt in eine Richtung reflektiert. Man unterscheidet daher im Luftbild Mitlicht - Bildmitten - und Gegenlichtbereich. (siehe Meienberg 1966, Gierloff-Emden 1970, Rohde 1977).

Im Mitlichtbereich werden besonders die beleuchteten, im Gegenlichtbereich die beschatteten Seiten der Objekte abgebildet, der Bildmittenbereich ist der Übergang zwischen den zwei Extremen (vgl. hierzu Abbildung 5).

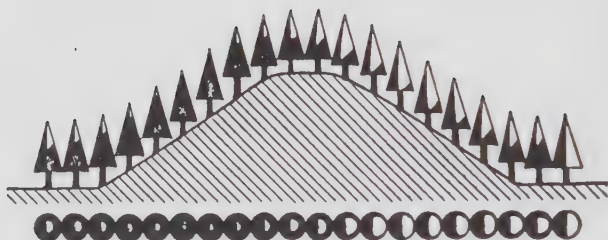


Abbildung 3: Einfluß des Geländereiefs auf die Beleuchtungsverhältnisse (aus Tolkning av Flygbilder, 1955).



Abbildung 4: Auswirkung gegenseitiger Kronenbeschattung auf die Kronenabbildung nach Beumann 1957.

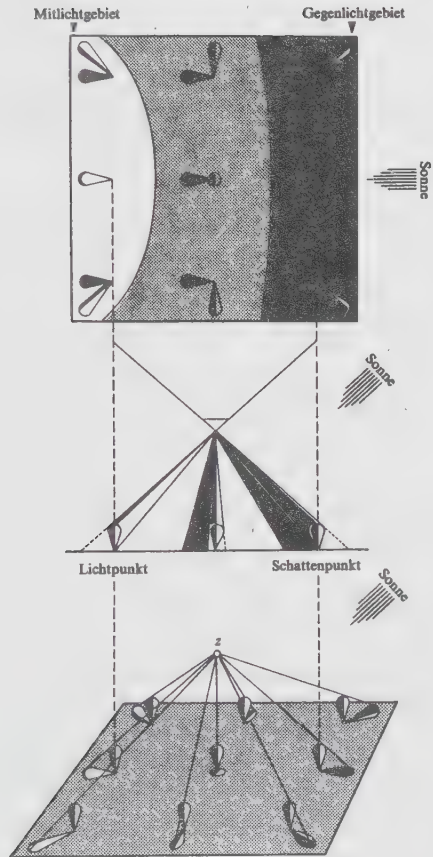


Abbildung 5: Mitlicht- und Gegenlichtbereich bei direkter Sonneneinstrahlung (aus Meienberg, 1966).

Meienberg (1966) bezeichnete den Mitlichtbereich für visuelle Interpretationen als weniger brauchbar. Dies stimmt überein mit der allgemeinen Interpretationserfahrung, die lehrt, daß dieser Bereich im allgemeinen weniger ausgeprägte Texturen aufweist. Auch die vorliegenden Untersuchungen (Kapitel 7.3) bestätigen dies.

Signifikante Texturunterschiede in Abhängigkeit von Bildort und Relief bei gleichartigen Objekten konnte Schade 1976 nachweisen.

Eine stark bildortabhängige Variation von Texturmerkmalen bei den Waldbeständen vom gleichen Typ und - Altersklasse auf großmaßstäbigen Luftbildern (1 : 10 000) bestätigte die Untersuchung Masumy und Hildebrandt (1977).

- Lagefehler: Infolge der zentralperspektivischen Abbildung werden die einzelnen Geländepunkte auf der Photographie nicht in ihrer orthogonalen Lage abgebildet. Es erfolgen "radiale Punktversetzungen in Abhängigkeit von Höhenunterschieden zu einer Bezugshöhe und von der Entfernung von Abbildungspunkt zum Bildnadir" (vgl. Hildebrandt 1961).

Bildgestalten von Objekten mit vertikal stark gegliederter Oberfläche weisen dadurch in Abhängigkeit von der Bildortlage unterschiedliche Texturen auf: Die Textur solcher Objekte ist bei Abbildung in der Bildmitte eine andere als bei Abbildung am Bildrand. Die Ergebnisse dieser Arbeit in Kapitel 7.3 liefert hierzu die quantitativen Belege (vgl. hierzu Kapitel 7.3).

3.) Optisch und photographische Einflüsse:

Die Texturerkennbarkeit eines Objektes bzw. Objektkomplexes hängt außer von den bisher angeführten Faktoren weitgehend davon ab, inwieweit die optischen und photographischen Aufnahmebedingungen und Prozesse für das betreffende Objekt

optimale Bedingungen anbieten.

Für die Texturerkennbarkeit auf Fernerkundungsaufzeichnungen sind von Bedeutung: der Abbildungsmaßstab, die sensorischen Eigenschaften des Sensors (Allgemeinempfindlichkeit, spektrale Sensibilität, Gradation), das Auflösungsvermögen, die Kontrastübertragungsfunktion, die Filterung bei der Aufnahme, der Entwicklungsprozess von Luftbildaufnahmen bzw. die Transformationsprozesse bei nichtphotographischen Aufnahmen.

An dieser Stelle ist nicht im einzelnen auf die Beziehungen zwischen den genannten Aufnahmebedingungen und den entstehenden Abbildungstexturen einzugehen. Es sollen lediglich ein paar Hinweise auf diese Beziehungen gegeben werden.

- Abbildungsmaßstab: Die Texturerkennbarkeit von Objekten auf den Bildern hängt weitgehend vom Bildmaßstab ab. Wie stark der Verlust von Texturinformationen mit kleiner werdendem Aufnahmemaßstab ist, wird u.a. in der vorliegenden Arbeit untersucht.

- die sensorischen Eigenschaften: Hohe Empfindlichkeit und steile Gradation des Sensors befördern im allgemeinen das Zustandekommen von Texturinformationen. Die Beziehungen zwischen der Bandbreite der spektralen Sensibilität und den entstehenden Texturinformationen sind ambivalent und weitgehend von den spezifischen spektralen Reflexionseigenschaften der abgebildeten Objekte abhängig.

Wesentlicher ist, ob die Abbildung monospektral als Schwarzweiß-Bild oder multispektral³⁾ als Farbbild entsteht. Das menschliche Auge kann über 1000mal mehr Farbwerte als Grautonwerte unterscheiden (Hildebrandt, Heller 1971). Als Folge davon können auch vielfältigere Texturen im multispektral entstandenen Farbbild bzw. Infrarot-Farbbild entstehen und wahrgenommen werden.

³⁾ die aus drei unterschiedlich spektral sensiblen Schichten bestehenden Farbfilm- und Infrarot-Farbfilm- erzeugen in diesem Sinne eine multispektrale Aufnahme.

- das Auflösungsvermögen: Höheres Auflösungsvermögen führt zwangsläufig zu feineren und differenzierten Abbildungstexturen.
- die Kontrastübertragung: Auch hier gilt der einfache Satz, daß bessere Kontrastübertragung deutlichere Texturen hervorbringt als schlechtere.
- Filterung bei der Aufnahme: Durch geeignete Filterung die etwa darauf abgestellt ist, nur die Strahlen jenes Teils des Spektrums zum Bildaufbau wirksam werden zu lassen in welchem eine einseitig unterschiedliche Reflexion der Elemente eines Objektes stattfindet, kann die Entstehung von Texturen hervorgerufen oder verstärkt werden.
- Einflüsse der Entwicklungs- bzw. der Transformationsprozesse: Auch durch Manipulationen der Primärinformationen - etwa u.a. durch Kontrastverstärkung - lassen sich Texturinformationen, die freilich im Ansatz schon als Primärinformation vorhanden sein müssen, (auch wenn diese vom menschlichen Auge vielleicht nicht oder nur unsicher wahrnehmbar sind) verbessern.

3.3 Bestimmungs- und Beschreibungsmethoden der Textur

Die Methode zur Beschreibung von Textur gliedert sich nach Akca (1970) in drei Gruppen:

- a) Schriftliche Beschreibung und Klassifizierung
- b) Standardskalen, die aus photographischen Ausschnitten bestehen
- c) Messmethoden

Die von mehreren Autoren vorgeschlagenen Methoden zur Beschreibung der Textur lassen sich jedoch alle in zwei übergeordnete Kategorien einteilen:

1) Visuelle Methoden

2) Quantitative Methoden

Unter visuellen Methoden versteht man diejenigen Methoden, bei denen die Texturmerkmale von Objekten überwiegend subjektiv an Hand von Form, Größe und Verteilung der kleinsten wahrnehmbaren Tönungsflächen⁴⁾ durch die Begutachtung von Menschen und mittels Vergleichsskala bestimmt werden.

Unter quantitativen Methoden versteht man alle Methoden, bei denen die Texturmerkmale durch die quantitative Erfassung von Messdaten analysiert werden.

Zu 1) Zu den visuellen Methoden gehören die beschreibenden Methoden und die Methode der Texturstandardskalen.

Beispiele für verbale Beschreibungen:

Spürr (1948) unterscheidet beispielsweise glatte, feine, rauhe und grobe Texturen. Zsilinszky (1963) unterscheidet büschelige, wogende, samtartige, faserige Texturen.

Auf ähnliche Art und Weise unterschieden und beschrieben auch Steiner 1961, Czebat 1969, Haralick 1973 (vgl. Abschnitt 3.1) u.a. die verschiedenartigen Texturen von Bildgestalten in Fernerkundungsaufzeichnungen.

Texturstandardskalen: Hier handelt es sich darum zwischen den wahrgenommenen Abbildungstexturen und photographisch oder graphisch hergestellten bzw. zusammengestellten, typischen Mustern zu vergleichen und das Ähnlichste aus dem Vergleich dieser Muster zu bestimmen.

Die Sammlungen photographischer Muster, die als Texturstandardskalen verwendet werden, bestehen aus Luftbildausschnitten, die im Hinblick auf ihre Textur von erfahrenen und fachmännischen

⁴⁾ Tönungsflächen im Sinne von Schmidt-Falkenberg (1967)

Luftbildinterpretieren durch mono- oder stereoskopische Auswertung und entsprechenden Vergleich mit den Geländeobjekten ausgewählt und zusammengestellt werden.

Die Bildausschnitte 1 bis 24 (Abbildungen 6 bis 9) sind geeignete Beispiele zur Demonstration der Texturstandardskala. Die auf der linken Seite aufgestellten Bilder geben den gesamten Bildbereich der jeweiligen IRC-Hasselbladaufnahmen und die auf der rechten Seite den jeweiligen Teilausschnitt des Gesamtbildes (quadratisch markierte Bildbereiche auf den Gesamtbildern) wieder, die für weitere Auswertung mit maximaler Auflösung (29,3 μ) abgetastet worden sind. Die quadratisch markierten Bildbereiche auf den Teilausschnitten auf der rechten Seite zeigen die jeweiligen Bestandesausschnitte, die später zur quantitativen Texturanalyse ausgewertet worden sind. Da diese Waldbestände alle zuvor terrestrisch inventarisiert wurden, gelten diese Bildausschnitte als ausgezeichnete Beispiele für die Texturstandardskalen, die je nach Walddtyp und Altersklasse für zwei verschiedene Bildmaßstäbe aufgeschlüsselt worden sind.

Die erwähnten Bildausschnitte wurden aus den IRC-Hasselbladaufnahmen, Maßstab 1 : 10 000 und 1 : 50 000 auf dem Comtal des digitalen Bildverarbeitungssystems FIM Karlsruhe erzeugt und daraus abphotographiert. Bild 1 bis 6 zeigen Bildausschnitte für Laubholzbestände und Bild 7 bis 12 für Nadelholzbestände in drei Altersklassen jeweils alt, mittelalt und jung (Bildmaßstab 1 : 10 000). Parallel hierzu zeigen die Bilder 13 bis 18 die gleichen Laubholzbestände sowie 19 bis 24 die gleichen Nadelholzbestände wie oben, jedoch im kleinen Bildmaßstab (1 : 50 000).

Texturstandardskalen können auch von quantitativer Art sein, wie z.B. Grenzwerte, Häufigkeitsverteilungen usw. Die Häufigkeitsverteilungen Histogramme, die im Kapitel 7 im Zuge

Gesamtbilder



Bild 1: Lbh-Altbest.

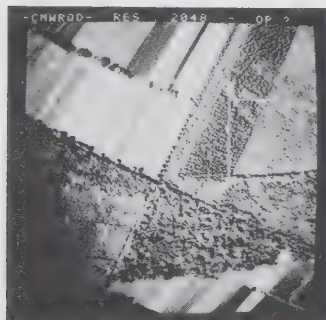


Bild 2: Lbh-Mittelaltbest.

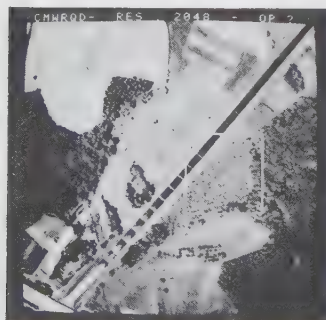


Bild 3: Lbh-Jungbest.

Teilausschnitte

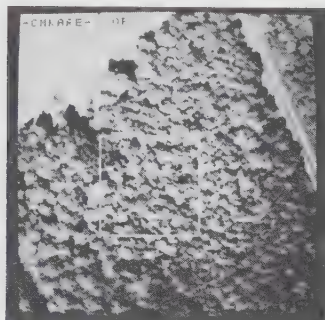


Bild 4: Lbh-Altbest.

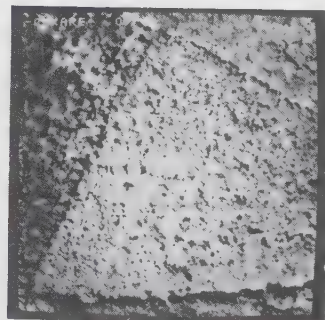


Bild 5: Lbh-Mittelaltbest.

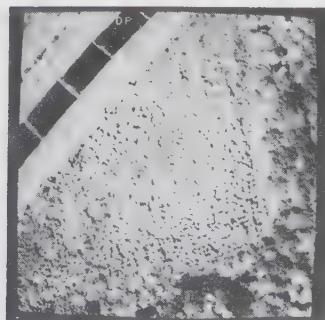


Bild 6: Lbh-Jungbest.

Abb. 6: Texturen von Laubholzbeständen verschiedener Altersklasse auf den IRC-Luftbildern,
Maßstab 1 : 10 000

Gesamtbilder

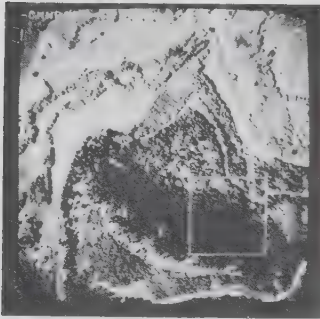


Bild 7: Ndh-Altbest.

Teilausschnitte

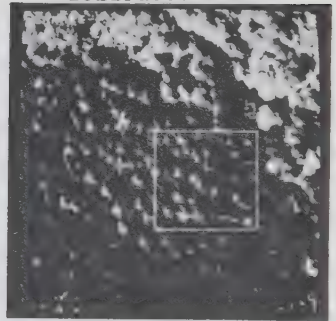


Bild 10: Ndh-Altbest.

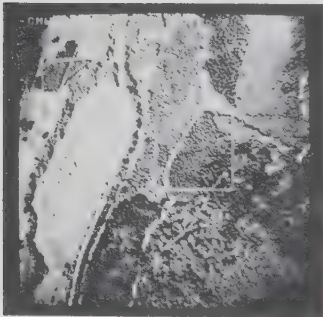


Bild 8: Ndh-Mittelaltbest.

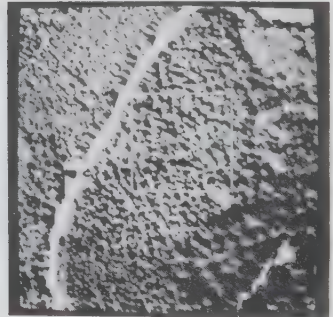


Bild 11: Ndh-Mittelaltbest.

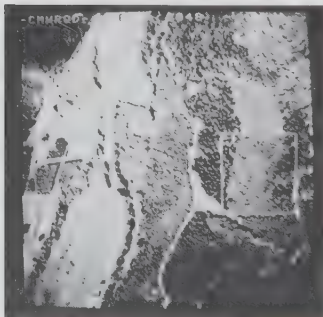


Bild 9: Ndh-Jungbest.

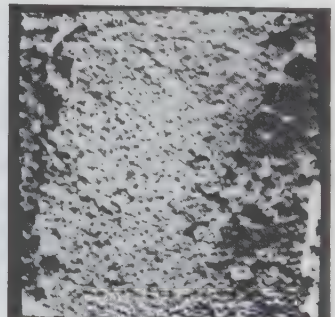


Bild 12: Ndh-Jungbest.

Abb. 7: Texturen von Nadelholzbeständen verschiedener Altersklasse auf den IRC-Luftbildern,
Maßstab 1 : 10 000

Gesamtbilder

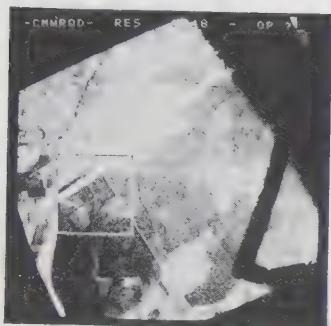


Bild 13: Lbh-Altbest.



Bild 14: Lbh-Mittelaltbest.

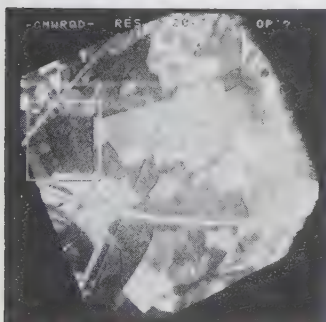


Bild 15: Lbh-Jungbest.

Teilausschnitte

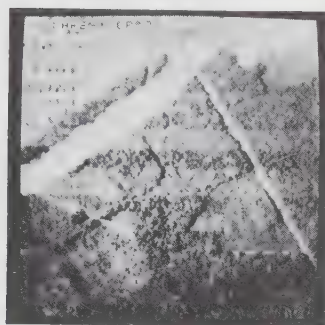


Bild 16: Lbh-Altbest.

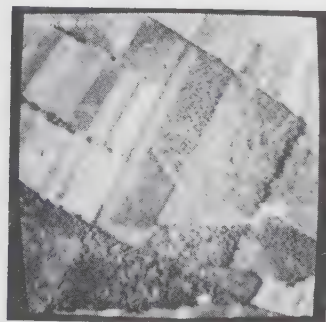


Bild 17: Lbh-Mittelaltbest.

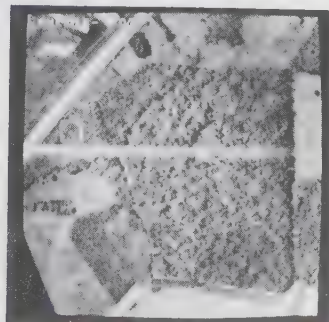


Bild 18: Lbh-Jungbest.

Abb. 8: Texturen von Laubholzbeständen verschiedener Altersklasse auf den IRC-Luftbildern, Maßstab 1 : 50 000

Gesamtbilder

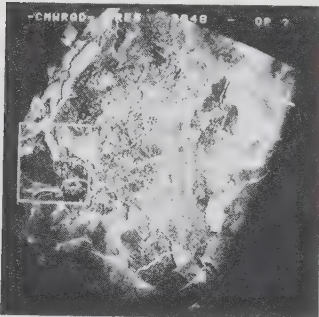


Bild 19: Ndh-Altbest.

Teilausschnitte

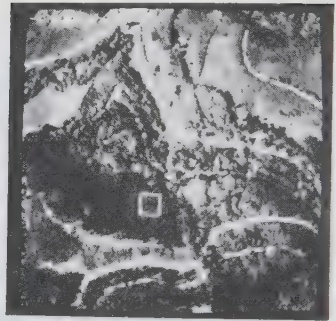


Bild 22: Ndh-Altbest.

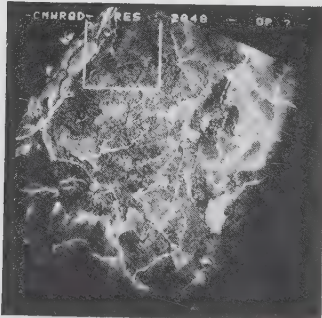


Bild 20: Ndh-Mittel-
altbest.

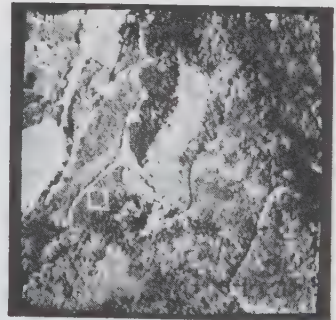


Bild 23: Ndh-Mittel-
altbest.

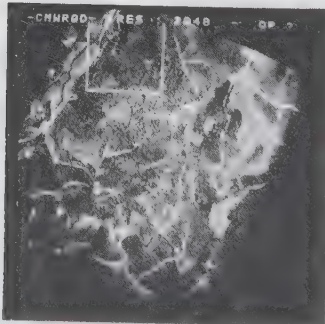


Bild 21: Ndh-Jungbest.

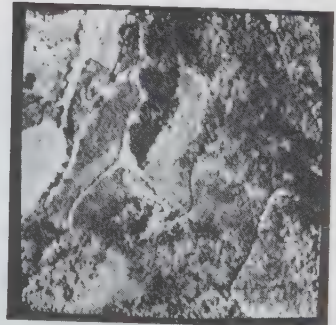


Bild 24: Ndh-Jungbest.

Abb. 9: Texturen von Nadelholzbeständen verschiedener Altersklasse auf den IRC-Luftbildern, Maßstab 1 : 50 000

der quantitativen Analyse der Abbildungstextur dargestellt worden sind, können ebenso als ausgezeichnete Beispiele der Texturstandardskalen - jedoch quantitativer Art - herangezogen werden (vgl. im Kapitel 7 die Histogramme).

Die Identifizierung der Objekte sowohl mit Hilfe der beschreibenden Methode (schriftliche Beschreibung), als auch mit Hilfe von Texturstandardskalen unterliegt immer einer gewissen Subjektivität, wobei der Subjektivitätsgrad bei ersteren wesentlich größer ist. Es gibt verschiedene Charakteristiken, wonach die Texturbeschreibungsmethoden sowohl die beschreibende Methode (schriftliche Beschreibung), als auch die Texturstandardskalen aufgestellt werden. Die wichtigsten davon sind: Jahreszeit, Film, Maßstab und Objekt. Es können z.B. Texturschlüssel in den beiden obengenannten Arten je nach Objekt, Filmart, Maßstab und Jahreszeit aufgestellt werden. Die können durchaus aus photographischen Ausschnitten oder aus schriftlich beschriebenen und festgelegten Texturmerkmalen bestehen. Die Texturstandardskalen aus photographischen Ausschnitten sind umständlicher und aufwendiger, wenn man alle oder zumindest einige der obengenannten Charakteristiken erfassen würde. Sie sind aber, wie schon erwähnt, weniger subjektiv als die schriftlichen Texturbeschreibungen. Darüberhinaus ist die Bestimmung der Texturmerkmale durch den Vergleich mit den zu interpretierenden Abbildungen und den photographischen Ausschnitten viel leichter und plausibler als mit der schriftlichen Darstellung.

Zu 2) Quantitative Methoden

Hierzu gehören alle Untersuchungsmethoden, die mittels optischer Zeichen - und Objekterkennung in Bildvorlagen verschiedener Muster und Objekten quantitativ zu bestimmen sind.

Die vorliegende Untersuchung, die mittels digitalem Bildverarbeitungssystem in FIM Karlsruhe durchgeführt wurde, gehört ebenso zu den quantitativen Methoden wie auch die zahlreichen

Texturuntersuchungen, die mit Densitometern oder Mikrodensitometern oder anderen digitalen Bildverarbeitungssystemen (siehe Kapitel 2) ausgewertet worden sind.

Bei der quantitativen Methode werden die Texturmerkmale der abgebildeten Objekte durch die quantitative Beschreibung von Texturparametern (vgl. Kapitel 5) digital erfaßt. Die Anwendung der quantitativen Methoden zur Analyse der Textur bieten zahlreiche Vorteile gegenüber den visuellen Methoden.

Die quantitative Methode ist objektiv, informationshaltiger und genauer als die visuellen Methoden. Darüberhinaus können durch die maschinelle Verarbeitung verschiedene Informationen aus den Bildern sehr schnell verarbeitet und dem Anwender zur Verfügung gestellt werden. Die Abwägung, welche Vor- und Nachteile die quantitative Methode im Vergleich zu visuellen Methoden erbringt, wurde bereits im Kapitel 1 beschrieben (vgl. hierzu Kapitel 1).

4. UNTERSUCHUNG ZUR AUTOMATISCHEN IDENTIFIZIERUNG VON FORST-
LICHEN OBJEKTEN AUF LUFTBILDERN UND MULTISPEKTRAL-SCANNER-
AUFZEICHNUNGEN DURCH QUANTITATIVE ANALYSE DER TEXTUR- UND
FARBPARAMETER

4.1 Die verwandten Luftbilder und andere Fernerkundungsmittel

Infrarotfarb-Hasselbladaufnahmen:

Flughöhe : ca. 800 m und ca. 4000 m ü. G.

Maßstab : ca. 1 : 10000 und ca. 1 : 50000

Aufnahmedatum : 6.6.1975

Aufgenommen : im Auftrag Abteilung Luftbildmessung und -in-
terpretation der Universität Freiburg durch
P. Reichert.

Brennweite des

Hasselblad-Ob- EL 500 (70er Magazin)
jektivs : 2,8 / 80 mm (Planar Zeiss).

Wetterlage bei

der Aufnahme: klares Strahlungswetter.

Freigabenummer: P-13662 bis P-13680

Freigabestelle: Regierungspräsidium Freiburg

Qualitätshin- die großmaßstäbigen Aufnahmen sind von guter
weis : Qualität. Die kleinmaßstäbigen Aufnahmen sind
etwas unterbelichtet und weisen dadurch eine
gewisse Bläustichigkeit auf. Auch wenn die
Qualität nicht optimal ist, war die Auswertung
ohne Schwierigkeit möglich.

Panchromatische (36, Filter WR 15)- Hasselbladaufnahmen:

Flughöhe : ca. 2153 m ü.G.

Maßstab : ca. 1 : 22000
Aufnahmedatum : 9.6.1976 um 15.00 Uhr
Aufgenommen : durch deutsche Forschungs- und Versuchs-
anstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR).
Brennweite des
Hasselblad-Ob-
jektivs : 100 mm
Wetterlage bei
der Aufnahme : überwiegend wolkenlos, klares Strahlungswetter.
Freigabenummer : GS 300/7262
Freigabestelle : Regierung in Oberbayern
Qualitätshinweis: gut

Multispektral-Scanneraufzeichnungen:

Die Tabelle 1 zeigt die Merkmale der Aufnahmedaten für die in dieser Arbeit ausgewerteten Scanneraufzeichnungen. Hierbei handelt es sich um Multispektraldaten des M²S (Modular Scanner System von Bendix) aus dem Flugzeugmeßprogramm (FMP), die auf computer-kompatiblen Bändern (CCT's - computer compatible tapes) vorliegen (vgl. Schroeder 1974).

4.2 Die Untersuchungsobjekte, ihre Auswahl und Beschreibung

Das Untersuchungsgebiet liegt im Raum Freiburg zwischen Kaiserstuhl und Schauinsland.

Die Auswahl der Untersuchungsbestände folgte zwei Hauptgesichtspunkten. Sie sollten zu den in Mitteleuropa häufig vorkommenden und relevanten Waldtypen gehören (vgl. 4.3), und sie mußten für die durchzuführenden Texturuntersuchungen geeignet sein. Letzteres erforderte:

Tabelle 1: Merkmale der Aufnahmedaten für die in dieser Arbeit
ausgewerteten Scanneraufzeichnungen

Nr.	Band Nr.	Flughöhe ü.G. in m	Maßstab	Qualitätshinweis
1	16109	933	1 : 7100	Geringer Grauwertdynamiksbereich, Bestand im verzerrten Bildrandgebiet.
2	16110	903	1 : 6900	Unterbelichtet.
3	16131	2153	1 : 20600	Für diese Flughöhe brauchbare Daten.
4	16132	2137	1 : 20400	Unterbelichtet.
5	16133	2137	1 : 20500	Unterbelichtet, sonst gute Unterscheidbarkeit zwischen Laub- und Nadelhölzern.
6	19724	3953	1 : 104300	Für die max. Auflösung sehr gute Intensitätswiedergabe.
7	19817	2149	1 : 34000	Etwas unterbelichtet.

Aufgenommen : Durch deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt
für Luft- und Raumfahrt (DFVLR)

Freigabestelle : Regierung von Oberbayern

Wetterlage : Überwiegend wolkenlos, klares Strahlungswetter

Aufnahmedaten : 9.6.76 von Nr. 1 - 5
15.7.76 Nr. 6
16.7.76 Nr. 7

Freigabe-Nr. : GS 300/7262 von Nr. 1 - 5
GS 300/7248 Nr. 6
GS 300/7250 Nr. 7

a) daß die Bestände im Hinblick auf die Fragestellung sowohl auf den Luftbildern als auch auf den Scanneraufzeichnungen unterschiedlicher Maßstäbe abgebildet sind;

b) daß es sich um weitgehend homogene Rein- und / oder Mischbestände handelt, die verschiedenen Altersklassen zugehören sowie möglicherweise auf unterschiedlichen Standorten bzw. Höhenlagen stocken;

c) daß einzelne der ausgewählten Objekte auf den Luftbildern in verschiedenen Bildortlagen abgebildet sind, um dadurch den Einfluß der bildortabhängigen Variablen im Hinblick auf die Veränderung der Textur bzw. des Grau- und Farbtone aufzeigen zu können.

Insgesamt wurden 26 Waldbestände (Bestand Nr. 1 bis 26, vgl. Tabellen 2 und 3) auf den IRC-Hasselbladaufnahmen, Maßstab 1 : 10000 zum Zwecke der Untersuchung ausgewählt. Dazu kommen noch 9 Bestände (Bestand Nr. 27 bis 35⁵⁾, vgl. Tabelle 2 und 3) die nur auf den panchromatischen Luftbildern untersucht wurden. Die Lage und die Grenzen aller 35 Bestände sind auf der topographischen Karte Maßstab 1 : 25000 markiert (siehe Karten im Aushang).

Von den 35 Waldbeständen sind 25 Laubholzmischbestände mit unterschiedlichem Alter. Sie liegen zum Teil im Kaiserstuhl, zum Teil im Auwald westlich von Freiburg. Acht Nadelholzmischbestände mit z.T. geringem Laubholzmischanteil und zwei weitere Laubholzbestände (Ruchen) liegen ostwärts von Freiburg

⁵⁾ Von insgesamt 35 Waldbeständen wurden die ersten 26 Bestände (Bestand Nr. 1 bis 26, vgl. Tabellen 2 und 3) auf den IRC-Hasselbladaufnahmen in den beiden Maßstäben, d.h. 1 : 10000 und 1 : 50000, vollständig untersucht. Auf den panchromatischen Aufnahmen und auf den Scanneraufzeichnungen wurden nicht alle von den o.g. 26 Waldbeständen ausgewertet, da nur einige von ihnen auf den genannten Aufnahmen abgebildet waren. Dies führte dazu, daß auf den panchromatischen Luftbildern zusätzlich einige neue Waldbestände (Bestand Nr. 27 bis 35, vgl. Tabellen 2 und 3), jedoch mit gleichen Merkmalen und auf gleichen Standorten wie die ersten 26 Bestände ausgewählt und später diese letztgenannten neun Bestände (Bestand Nr. 27 bis 35) nur auf den panchromatischen Aufnahmen untersucht wurden.

Tabelle 2: Bestandesinventur im Aufnahmegebiet

Best.-Nr.	Bestandestyp	Bestandesaufbau	Altersklasse	Mischungsform	Bestandesaufbau	Altersklasse	Bestandestyp
1	Bu 70, Ei 30	zweischichtig	alt	einzelstammweise	zweischichtig	alt	Lbh-Hochwald
2	BAh 90, Es 5, Li 5	einschichtig	jung	"	einschichtig	jung	" "
3	Er 80, Pa 10, Es 7, Ah 2, Bi 1	zweischichtig	mittelalt	"	zweischichtig	mittelalt	Auenwald
4	Es 90, Ah 7, Er 3	einschichtig	"	"	einschichtig	"	" "
5	Er 60, Pa 30, Es 10, (Bi)	zweischichtig	alt	"	zweischichtig	alt	" "
6	Es 60, Er 30, Ah 8, Bi + Hasel 2	"	"	"	"	"	" "
7	Er 90, Es 7, Pa 2, Ah 1	"	mittelalt	"	"	mittelalt	" "
8	Ei 50, Es 30, HBu 20, (Er + AH)	"	alt	"	"	alt	" "
9	Ah 60, Bi 30, HBu 5, Ei 5, (Ro)	einschichtig	jung	gruppenweise	einschichtig	jung	" "
10	Es 60, Li 20, Bi 10, Ah 10, (Er + HBu)	"	"	einzelstammweise	"	"	" "
11	Es 40, Er 30, HBu 25, Li 3, Bi + Ah 2	zweischichtig	mittelalt	"	zweischichtig	mittelalt	" "
12	Ei 40, Es 30, HBu 20, Er 10, (Pa)	einschichtig	alt	"	einschichtig	alt	" "
13	Es 70, HBu 20, Ro 5, Ei 5	"	"	"	"	"	" "
14	Es 40, HBu 30, Li 10, Er 10, Ei 10	zweischichtig	"	"	zweischichtig	"	" "
15	HBu 50, Es 40, Ei 10, (Bu, Ro + Er)	"	mittelalt	"	"	mittelalt	" "

noch Tabelle 2: Bestandesinventur im Aufnahmegebiet

Best.-Nr.	Baumartenzusammensetzung, Angabe in %; (..) < 0,5 %	Mischungsform	Bestandesaufbau	Altersklasse ⁶⁾	Bestandestyp
16	HBu 40, Er 15, Es 30, Ei 10, Ah 5	einzelstammweise	einschichtig	alt	Auewald
17	Ah 70, Es 20, Li 10	"	"	jung	"
18	Ah 34, Es 33, Er 33	Reihenweise	"	"	"
19	Fi 40, Ta 20, Ei + Bu 15, Lä 15, Ki 10	einzelstammweise	zweischichtig	alt	Ndh-Hochwald
20	Bu 55, Ei 45,	"	einschichtig	"	Lbh-Hochwald
21	Ta 40, Bu 30, Fi 20, Dogl. 8, Lä 2	"	"	"	Ndh-Hochwald
22	Dogl. 100	rein	"	jung	"
23	Bu 80, Dogl. 10, Ki 5, Ta 5	einzelstammweise	"	alt	Lbh-Hochwald
24	Fi 70, Lä 5, Ta 5, Bi 10, Bu + Ei 10	"	"	mittelalt	Ndh-Hochwald
25	Ta 70, Fi 30	"	"	alt	"
26	Fi 100	rein	"	"	"
27	Ah 70, Bu 10, Es 10, Rob/Bi/Kest. 10	einzelstamm- u. gruppenweise	"	jung	Lbh-Hochwald
28	Bu 70, Ei 15, Es 10, Ah + Ro 5	einzelstammweise	"	alt	"
29	Es 60, Er 30, Pa/Bi 10	gruppenweise	"	jung	Auewald
30	Es 45, Ei 35, Er 10, Pa 10	gruppenweise	stufig	alt	"
31	Es 50, Pa 30, Ah 10, Er 5, Ul 5	einzelstamm- u. gruppenweise	einschichtig	mittelalt	"
32	Roteiche 95, Ah u. Slbh 5	rein	"	jung	"

noch Tabelle 2: Bestandesinventur im Aufnahmegebiet

Best.-Nr.	Baumartenzusammensetzung, Angabe in %, (..) < 0,5 %	Mischungsform	Bestandesaufbau	Altersklasse ⁶⁾	Bestandestyp
33	Ei 40, Es 30, HBu 25, Slbh 5	HBu gruppenwei- se, sonst ein- zelstammweise	einschichtig	alt	Auwald
34	Fi 95, Ta 5	rein	" "	"	Ndh-Hochwald
35	Fi 90, Ta 5, Slb 5 (Es, Er, Bah)	rein	" "	jung	" "

6) vgl. Definition von S. 44

Tabelle 3: Standortsinventur im Aufnahmegebiet

Best-Nr.	Wuchsgebiet	Forstort	Höhe ü. NN	Expo- sition	Lage im Ge- lände, bzw. Hang	Hang- neigung	Relief	Standort	Bodenflora
1	Kaiserstuhl	Welzental	325 m	SSW	Mittelhang	2 - 10°	eben	frisch	ohne
2	"	"	294 m	"	Tallege	"	"	"	vergrast
3	Wasenweiler	Schächle	190 m	-	-	0 - 2°	"	"	"
4	Bötzingen	Erlen- schachen	"	-	-	"	"	feucht	stark vergrast
5	"	"	"	-	-	"	"	"	verbuscht
6	Gottenheim	Oberwald	195 m	-	-	"	muldig	frisch	verkreutet
7	"	"	"	-	-	"	eben	feucht	vergrast
8	"	"	"	-	-	"	"	frisch	verbuscht
9	"	"	"	-	-	"	"	"	vergrast
10	"	"	"	-	-	"	"	"	"
11	"	"	"	-	-	"	"	"	verbuscht
12	Umkirch	Rohmatten- wald	196 m	-	-	"	"	mäßig trocken	ohne
13	"	"	203 m	-	-	"	"	mäßig trocken	verbuscht
14	"	"	"	-	-	"	"	frisch	"
15	"	Leidholz- le	200 m	-	-	"	"	mäßig trocken	ohne
16	"	Spitzen- wädele	208 m	-	-	"	"	frisch	verbuscht
17	Lehen	Christ	212 m	-	-	"	"	mäßig trocken	ohne
18	"	"	212 m	-	-	"	"	mäßig trocken	"

noch Tabelle 3: Standortsinventur im Aufnahmegebiet

Best-Nr.	Wuchsgebiet	Forstort	Höhe ü. NN	Expo- sition	Lage im Ge- lände bzw. Hang	Hang- neigung	Relief	Standort	Bodenflora
19	Günterstal	Sternwald	280 m	Nord	Mittelhang	2 - 10°	eben	mäßig trocken	ohne
20	"	Butzen- berg	560 m	West	"	10-20°	muldig	frisch	verbuscht
21	"	"	570 m	"	"	20-30°	"	mäßig trocken	vergrast
22	"	"	605 m	"	"	"	"	"	ohne
23	"	Hanfacker	507 m	"	"	"	felsig	"	"
24	"	"	600 m	"	"	"	furchig wellig	"	"
25	"	Bohrer	460 m	NNO	"	"	muldig	frisch	vergrast
26	Schauins- land	Ochsen- berg	965 m	SW	"	10-20°	eben	mäßig trocken	vergrast
27	Keiserstuhl	Welzen- tal	325 m	SSW	"	20-30°	muldig	trocken	verkrautet
28	"	Ameisen- buck	321 m	Nord	"	10-20°	"	frisch	"
29	Bötzingen	Erlen- schachen	190 m	-	-	0 - 2°	eben	frisch/ feucht	"
30	"	"	"	-	-	"	"	frisch	"
31	Umkirch	Schorren	209 m	-	-	"	"	"	vergrast
32	"	"	"	-	-	"	"	"	"
33	"	"	"	-	-	"	"	"	"
34	Schauins- land	Ochsen- berg	965 m	Süd	Mittelhang	10-20°	furchig wellig	frisch	"
35	"	"	"	"	Unterhang	"	"	"	"

zwischen Günterstal und Schauinsland. Die folgende Übersicht 2 zeigt die Verteilung der Untersuchungsbestände nach dem Alter und dem Bestandestyp.

Übersicht 2

Bestandestyp	jung ^{+))}	mittelalt ^{+))}	alt ^{+))}
Laubholz- mischbestand	8	6	13
Nadelholz- mischbestand	2	1	5

^{+))}
"junge" Bestände = Kultur, Dichtung, schwache Stangen-
hölzer.

"mittelalte" Bestände = starke Stangenhölzer, geringe Baum-
hölzer.

"alte" Bestände = mittlere und starke Baumhölzer,
Althölzer.

Die Untersuchungsobjekte verteilen sich mit 15 Beständen auf das Forstamt Breisach, mit 8 Beständen auf den forstlichen Privatwald (z.T. Kirchenwald) Umkirch und mit 12 Beständen auf das Forstamt Freiburg Stadt.

Da einige Untersuchungsbestände in 3 unterschiedlichen Bildortlagen (Mitlicht, Mittellicht und Gegenlicht) abgebildet sind, erhöht sich die Anzahl der in die Untersuchung einbezogenen Bildobjekte für die großmaßstäbigen IRC-Hasselbladaufnahmen von 26 auf 55 und für die kleinmaßstäbigen IRC-Aufnahmen von 26 auf 44 Bestände.

4.3 Standortsbeschreibung des Untersuchungsgebietes

Die im Gelände terrestrisch aufgenommene Standort- und Bestandesinventur der einzelnen Bestände ist in den Tabellen 2 und 3 zu finden.

Standortsverhältnisse:

=====

Allgemeine Klimasituation:

Bedingt durch den großen Höhenunterschied zwischen Rheintal und Schauinsland von über 1000 m wechseln die klimatischen Verhältnisse innerhalb des Untersuchungsgebietes sehr stark.

Auf die Landkarte projiziert entspräche das Klima dieses Raumes einem Gebiet, das von der submediterranen Region (Kaiserstuhl) bis etwa nach Spitzbergen (Schwarzwaldhochlage über 1200 m) reichen würde.

Temperatur: Die mittlere Jahrestemperatur der im Kaiserstuhl liegenden Beobachtungsstation Oberrotweil und der Klimastation Freiburg-Botensiches Institut, die in etwa die Verhältnisse der unteren Lagen des Stadtwaldes und der Rheintalwälder widerspiegelt, liegt um $4,9^{\circ}\text{C}$ höher als die der Schauinslandstation in 1218 m Meereshöhe. In der Vegetationszeit ist dieser Unterschied noch größer. Nachstehende Tabelle 4 zeigt die genauen monatlichen und jährlichen Mittelwerte.

Tabelle 4:

Station	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Oberrotweil/Kaiserstuhl (Mittelwert 1931-1960)	-	-	-	-	-	-
Frbg.-Bot. Institut (Mittelwert 1871 - 1950)	0,8	2,4	5,8	9,8	13,8	17,3
Frbg.-Schauinsland (Mittelwert 1871 - 1950)	- 2,3	- 1,7	0,4	3,3	7,7	10,8

Station	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel
Oberrotweil/ Kaiserstuhl (Mittelwert 1931-1960)	-	-	-	-	-	-	9,9
Frbg.-Bot.In- stitut (Mittelwert 1871-1950)	19,0	18,3	15,1	9,8	5,0	1,6	9,9
Frbg.-Schau- insland (Mittelwert 1871-1950)	12,8	12,6	10,0	5,4	1,7	-1,1	5,0

Niederschlag: Die mittleren jährlichen Niederschläge schwanken zwischen dem Kaiserstuhl um 680 mm, dem Rheintal bei Freiburg mit etwa 900 mm und dem Schauinsland mit rund 1800 mm ebenfalls außerordentlich stark. Die geringste Regenmenge fällt im Kaiserstuhl, während die in der Zone reichlicher Steigungsregen gelegenen Teile des Schauinslandmassivs mit steigender Höhe zunehmende Niederschläge erhalten. Die nachstehende Tabelle 5 gibt die durchschnittlichen monatlichen und jährlichen Niederschläge im Zeitraum zwischen 1931 - 1960 in Oberrotweil/Kaiserstuhl und zwischen 1871 - 1950 in Freiburg-Bot. Institut und Freiburg-Schauinsland an.

Tabelle 5:

Station	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.
Oberrotweil/ Kaiserstuhl	-	-	-	-	-	-	-	-
Bot.Institut	45	45	60	73	90	103	104	94
Schauinsland	124	120	126	146	163	176	185	160

Station	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahresmittel	Mittel i.d. Veg. Zeit (IV-IX)
Oberrotweil/ Kaiserstuhl	-	-	-	-	682	-
Bot.Institut	86	75	68	56	899	550
Schauinsland	151	160	138	144	1793	981

Hauptsturmrichtung: Die am häufigsten auftretenden Stürme kommen aus West und Südwest. Besonders wind- und sturmexponiert sind die obersten Lagen des Schauinslandes.

Lage: Die Höhenlage über NN schwankt im Untersuchungsgebiet zwischen 190 m im Rheintal bei Wasenweiler (Untersuchungsbestände 3 - 5) und 1284 m am Gipfel des Schauinsland (höchstgelegener Untersuchungsbestand Nr. 26 in 965 m Höhe über NN). Im Kaiserstuhl mit Erhebungen bis zu 492 m liegen die Untersuchungsbestände in 294 m und 325 m Höhe.

Während alle Untersuchungsbestände in den Auewaldrevieren des Rheintals in ebener Lage liegen, die vier Kaiserstuhlbestände auf mäßig geneigten Hängen stocken, herrschen für die Schwarzwaldbestände am Schauinsland steile bis sehr steile Hänge vor, die hauptsächlich nach W und N einfallen.

Geologisches Substrat: Das geologische Substrat ist im Untersuchungsraum ebenfalls sehr unterschiedlich.

Die Auewälder des Rheintals stocken überwiegend auf Standorten der Niederterrassen des Rheins, nämlich auf Schotter und Sandablagerungen der Eiszeit, die zum großen Teil von noch jüngeren Sedimenten überdeckt sind. Dabei handelt es sich zum Teil um alpines Material, zum überwiegenden Teil im Bereich der Untersuchungsbestände um Schwarzwaldmaterialien (Schuttfächer der Dreisam). Der Kaiserstuhl ist im wesentlichen vulkanischen Ursprungs und zu mehr als dreiviertel vom Löß, zum Teil größerer Mächtigkeit, überdeckt.

Im weitaus größten Teil des Freiburger Bergwaldes bildet der Gneis das geologische Substrat. Zum Teil handelt es sich um Sediment- oder Paragneis, zum Teil um anatektischen Mischgneis.

Boden: Entsprechend den unterschiedlichen geologischen Ausgangsmaterialien und den verschiedenartigen klimatischen Verhältnissen haben sich im Untersuchungsgebiet sehr unterschiedliche

Böden ausgebildet. So stocken die Untersuchungsbestände, die dem Wuchsgebiet Wasenweiler-Bötzingen zugehören, auf Böden, deren Besonderheiten im Forsteinrichtungswerk von 1969 wie folgt charakterisiert werden: Die Bodenbildung im Auewald wurde entscheidend bestimmt durch den Bau des Riedkanals im Jahre 1860. Erst infolge der einsetzenden Grundwasserabsenkung wurden die zuvor sehr nassen Standorte für ein gutes Baumwachstum geeignet. Der ehemalige Flachmoortorf vererdete zunehmend und ergibt heute sehr ertragsfähige Böden.

Der Riedkanal sorgte für eine Absenkung des Grundwassers um 0,6 - 0,7 m. Mit der Inbetriebnahme der Staustufe Vogelgrün des Rheinseitenkanals im Sommer 1959 wurde die Entwicklung jäh abgebrochen. Die Grundwasserstände sanken sehr rasch um weitere 1,0 bis 1,5 m. Dies führte zu einer akuten Gefährdung des Waldbestandes. Durch die Inbetriebnahme des I. Kulturwehrs bei Breisach konnte sich der Grundwasserspiegel wieder im Bereich seines ehemaligen Standes einpendeln.

Die vergangenen überwiegend feuchten Jahre haben dazu beigetragen, größere Schäden durch die Grundwasserabsenkung zu vermeiden.

Ähnliche Bodenverhältnisse liegen auch für die Bestände bei Gottenheim und Umkirch vor. Im einzelnen hat in diesem Raum die Bodenbildung zu unterschiedlichen Böden geführt, die von ausgesprochenen Moorböden (Erlenwald) bis zum mäßig trockenen grundverdichteten Böden reichen. Die Böden des Kaiserstuhlgebietes sind im wesentlichen durch die Mächtigkeit des Lösslehrs und die jeweilige Wasserversorgung und -führung geprägt.

Im Schwarzwald, im Bereich des Schauinslandmassivs, liegen aus dem Gneis hervorgegangene Verwitterungsböden vor. Das Forsteinrichtungswerk 1970 beschreibt die Situation hier wie folgt: Der Paragneis verwittert verhältnismäßig rasch zu tiefgründigen, fein- bis mittelkörnigen, nährstoffreichen Lehmböden, deren Tongehalt je nach Feldspat-Anteil des Muttergesteins schwankt.

Die anatektischen Mischgneise hingegen verwittern nur sehr langsam. Hier herrschen flachgründige bis sehr flachgründige Sandböden mit hohem Sklettanteil vor. Häufig steht der Mischgneis auch in Form von Felsen oder Gehängeschutt an.

Die beiden Gneisarten spielen indessen für die Geländeausformung die Hauptrolle bei der Bodenbildung. Je nach Exposition und Inklination wechseln in bunter, häufig kleinflächiger Reihenfolge tiefgründige, frische, nährstoffreiche und damit fruchtbare Böden und flachgründige, meist feinerdearme Standorte einander ab.

Bestandestypen: Der vorherrschende Bestandestyp der Rheintalwälder ist ein buntlaubholzreicher Auwald. Er ist zumeist aus ehemaligem Mittelwald hervorgegangen. Alle Untersuchungsbestände dieses Gebietes sind solche holzartenreiche Auwälder.

Die zwei älteren Kaiserstuhl-Untersuchungsbestände sind Bu- bzw. Bu-Ei-Hochwälder. Sie gehören damit zu den im Kaiserstuhl häufig vorkommenden Bestandestypen.

Auch alle Untersuchungsflächen des Schauinslandgebietes sind Hochwälder. Sie gehören den Bestandestypen an:

Nadelholz-Reinbestände, hauptsächlich Fi,
Nadelholz-Mischbestände, hauptsächlich Fi und Ta,
Nadel-Laubholz-Mischbestände, hauptsächlich Ta und Fi mit Bu und Ei,
Laubholz-Reinbestände, hauptsächlich Bu mit geringem Mischungsanteil.

4.4 Terrestrische Arbeiten

Im Zuge der terrestrischen Arbeiten wurde für alle 35 Untersuchungsbestände eine Standorts- und Bestandesinventur durchgeführt. Die im Gelände gutachtlich erhobenen Informationen erfolgten wie im Beispiel für Bestand Nr. 6 in Übersicht 3 angegeben. So wurden die Inventurergebnisse für alle Untersuchungsbestände auf solchen Übersichtsbögen, wie die Übersicht 3 zeigt, niedergelegt. Die Tabellen 2 und 3 geben eine Zusammenfassung von im Gelände erhobenen Inventurdaten für alle Untersuchungsobjekte wieder. Außerdem wurden mit

Hilfe eines Projektors aus den transparenten Infrarot-Farbluftbildern mit 6-facher Vergrößerung Kronenkarten hergestellt und in der Natur verglichen (vgl. hierzu Abb. 10).

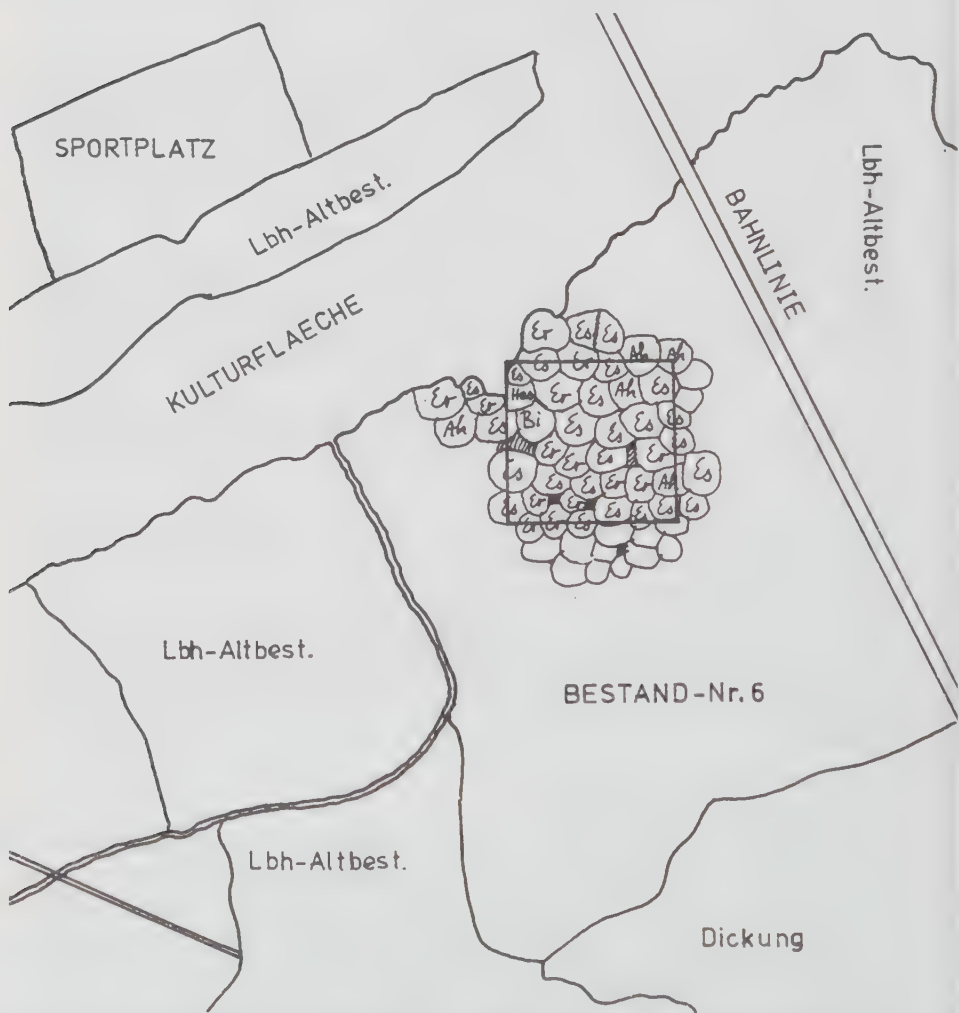
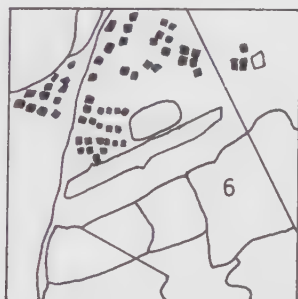


Abb. 10: Mit Hilfe eines Projektors aus den transparenten Infrarot-Farbluftbildern (Maßstab 1 : 10000) mit 6-facher Vergrößerung hergestellten Kronenkarte (hier Beispiel für Bestand Nr. 6).

Übersicht 3: Zeigt die im Gelände gutachtlich erhobene Information (hier Beispiel für Bestand Nr. 6).

Aufnehmer : Masumy/Uhrig
Datum : 12.7.76
Bild-Nr. : 40 (IRC-Aufnahme, Maßstab 1 : 10 000)
Bestandes-Nr. : 6
Gebiet : Gottenheim (Umkirch)

Skizze



A) Inventur des Standortes:

- 1) Höhe über NN : ca. 195 m
- 2) Relief : glatt/eben
 - 2a) Hangneigung : eben
 - 2b) Hangausbildung: -
- 3) Standort : frisch
- 4) Humusform : -
- 5) Bodenflora : verkrautet und verbuscht
(Sauergräser)

noch Übersicht 3

B) Bestandesinventur:

- 1) Bestandestyp : Auewald (Laubholzmischbestand)
- 2) Natürliche Wuchs-Alters-
klassen : mittleres Baumholz bis Altholz
- 3) Betriebsart : Hochwald
- 4) Holzartenzusammensetzung
- Angaben in % : Es 60, Er 30, Ah 8, (Bi, Has, Ei, Hbu2)
- 5) Bestandesaufbau : 3-stufig: Oberstand Es, Ei, Er;
Mittelstand Ah, Es
Unterstand Ah, Has, Es
- 6) Mischungsform : einzelstammweise, z.T. gruppenweise
- 7) Kronenschluß : geschlossen
- 8) Bestandesschäden : -
8a) Kronenschädigung : -
8b) Anzahl der toten Bäume: 2
- 9) Mittlerer Durchmesser : Es 44 cm, Er 37,5 cm
- 10) Mittlere Höhe : Es 25,5 m, Er 22,5 m
- 11) Sonstiges : Der Bestand liegt östlich von
Gottenheim, (vgl. Karte im Aushang).
Zugrunde gelegt: topographische
Karte 1 : 25 000

4.5 Messung der ausgewählten Untersuchungsbestände durch das digitale Bildauswertesystem im FIM Karlsruhe.

Die für die Texturanalyse dieser Arbeit notwendigen Messungen und digitalen Bildauswertungen wurden im Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung (FIM) in Karlsruhe durchgeführt.

Das dort verwendete Bildauswertesystem wurde von Bergel (1976) beschrieben. Hier erfolgt deshalb nur eine kurze Darstellung des Systems.

4.51 Bildverarbeitungssystem

Die für die Untersuchung der Abbildungstexturen eingesetzte Anlage des FIM ist in Abb. 11 wiedergegeben.

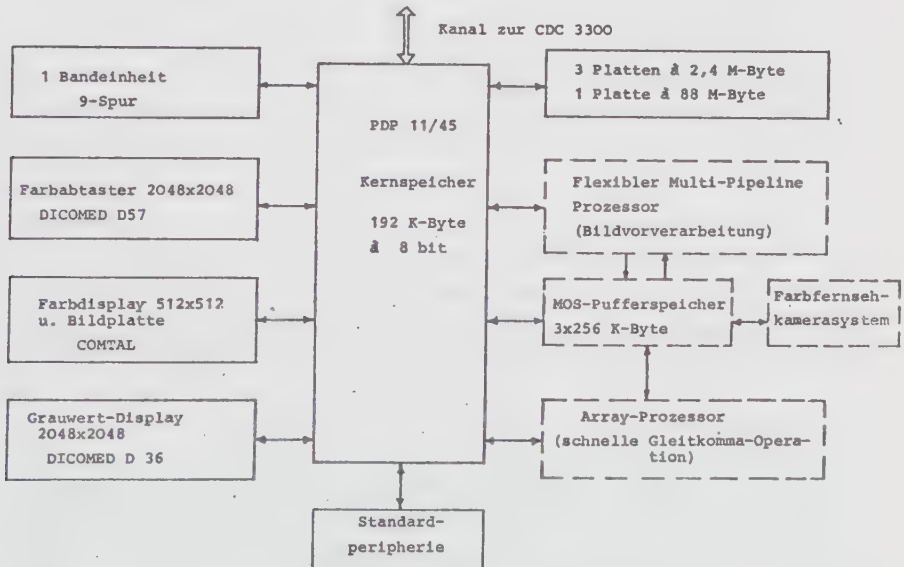


Abbildung 11: Schematische Darstellung des für diese Arbeit verwendeten digitalen Bildverarbeitungssystems des FIM.

Diese Gerätekonfiguration gewährleistet eine Verarbeitung der auf Filmen oder Magnetbändern vorgegebenen Bilddaten.

Neben der Standardeingabe zur Programmerstellung und den Platten als Datenpuffern werden vor allem folgende Geräteeinheiten eingesetzt:

- a) Der Dicomed-Farbbtaster zur Digitalisierung der kleineren Bildformate (Hasselblad-Filme) im "on line" Betrieb.
- b) Das Comtal Farbdisplay (einschließlich der Rollkugel und Tastatur) zur
 - Auswahl der in den Hasselblad-Aufnahmen abzutastenden Bildbereiche,
 - Einstellung der Steuerparameter für die Abtastung und Kontrolle der Abtastergebnisse,
 - Selektion der interessierenden Teilbereiche aus den auf Bändern gespeicherten Bilddaten,
 - farblichen Darstellung (Normal- und Falschfarbe) von mehrkanaligen Bildinformationen,
 - Wiedergabe von Verarbeitungsergebnissen.
- c) Das 9-Spur-Bandgerät zur Eingabe der auf Komputern kompatiblen Magnetbändern gespeicherten digitalen Bildinformation.

4.52 Vorbereitung und Durchführung der Messungen.

Die Messung der Untersuchungsobjekte wurde in mehreren Schritten wie folgt durchgeführt:

1. Schritt: Da bei den Untersuchungen häufig die gleichen Bestände in verschiedenen Bildern bewertet werden, mußten vor der Digitalisierung der Hasselbladaufnahmen markante und auf dem Bild gut abgrenzbare Punkte als Anfangspunkte für die einzelnen Untersuchungsbestände definiert werden. Außerdem war diese Voraussetzung notwendig, um dadurch die zu untersuchenden Objekte bzw.

Objektkomplexe von den benachbarten Objekten auf den Bildern deutlich trennen zu können. Hierzu wurde zunächst für jeden einzelnen Bestand eine Kartenskizze durch Hochzeichnung vom Originalluftbild, Maßstab 1 : 10000, hergestellt. Darin wurde der Untersuchungsbestand skizziert und der zu untersuchende Bestandesausschnitt quadratisch festgelegt. Abb. 12 zeigt ein Beispiel für eine solche Kartenskizze. Das große Quadrat (gestrichelte Linie) gibt den Bildausschnitt wieder, der für die späteren Auswertschritte mittels des Dicomed-Abtasters digitalisiert wurde. Das kleine Quadrat (ausgezogene Linie) umschreibt den Ausschnitt, der aus diesen abgetasteten Daten für die Untersuchung des Bestandes ausgewählt wurde.



Abbildung 12: Kartenskizze hergestellt durch Hochzeichnung vom Originalluftbild (IRC-Hasselbladaufnahme, Maßstab 1 : 10000), hier Beispiel für Bestand Nr. 6

Da bei dem eingesetzten Meßsystem die Abtastung stets automatisch von links nach rechts erfolgt, wurde der 1. Punkt in der oberen linken Ecke des (kleinen) Quadrates als markanter Anfangspunkt für das Untersuchungsobjekt festgelegt. Die quadratische Form des zu messenden Ausschnitts wurde aus praktischen meßtechnischen Gründen gewählt.

Im Hinblick auf die spätere Abtastung (s.u.) wurden die Auswertebereiche in den großmaßstäbigen Bildern mit 4,69 x 4,69 mm festgelegt. Dies entspricht in der Natur einer Flächengröße von durchschnittlich 48 x 48 m.

2. Schritt: Zur Auswahl des zu digitalisierenden Bildbereichs (gestricheltes Quadrat, Abb. 12) wurde mit minimaler Auflösung ($117,2\mu$) die gesamte Hasselbladaufnahme digitalisiert und auf dem Comtaldisplay wiedergegeben. Mittels einer FIM-Nutzer-routine wurden anschließend hieraus die Bereichsgrenzen festgelegt und der entsprechende Ausschnitt mit maximaler Auflösung ($29,3\mu$) abgetastet. Für den auszuwertenden Bereich ergibt sich aufgrund der oben getroffenen Spezifikationen die konstante Anzahl von 160×160 Bildpunkten (mit Grauwert-Digitaldaten zwischen 0 und 255). Für die kleinmaßstäbigen IRC-Luftbilder ($1 : 50000$), sowie für die panchromatischen Aufnahmen ($1:22000$) wurde das gleiche Auswahlverfahren angewendet. Hierbei wurde beachtet, daß der auszuwertende Bereich von 32×32 Bildpunkten möglichst genau den gleichen Bestandesteil erfaßt, der in dem entsprechenden großmaßstäbigen Bild definiert wurde.

Damit die Anzahl der gemessenen Bildpunkte sowohl bei den kleinmaßstäbigen als auch bei den großmaßstäbigen Bildern gleich groß ist, wurden nach der Digitalisierung bei den großmaßstäbigen IRC-Aufnahmen ($1 : 10000$) jeder 5. Bildpunkt, bei den mittelmaßstäbigen panchromatischen Aufnahmen ($1 : 22000$) jeder 2. Bildpunkt und bei den kleinmaßstäbigen IRC-Aufnahmen ($1 : 50000$) alle Bildpunkte innerhalb des auszuwertenden Bereichs berücksichtigt. Dadurch beläuft sich die Anzahl der gemessenen Bildpunkte bei allen drei Maßstäben auf 32×32 Bildpunkte. Die Abtastung erfolgte für alle Untersuchungsbestände bei den groß- und kleinmaßstäbigen IRC-Aufnahmen mit vier verschiedenen Filtern: neutral, rot, grün und blau, dagegen bei den panchromatischen Luftbildern nur mit dem neutralen Filter.

Um für die einzelnen Bestände vergleichbare Digitaldaten zu erhalten, wurden die Einstellwerte des Dicomed-Abtasters soweit wie möglich konstant gehalten. Aufgrund der unterschiedlichen Auswirkung der Farbfilter sowie der starken Abweichung in der Transparenz zwischen den Hasselbladaufnahmen unterschiedlicher

Maßstäbe traten größere Abweichungen nur in der Beleuchtung (Intensitätseinstellung der Lichtquelle im Abtaster) auf. Diese Werte sind in der Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6: Beleuchtungswerte für die Bilddigitalisierung durch den Dicomed Abtaster

Film Filter	IRC-Aufnahmen 1 : 10 000	IRC-Aufnahmen 1 : 50 000	Pan.-Aufnahmen 1 : 22 000
neutral	11	15	23
rot	18	26	-
grün	22	29	-
blau	33	40	-

Durch die Einstellwerte wird das Gerät optimal geeicht, so daß nach den hier verwendeten Bildarten optimale Bildkontraste erzielt wurden.

Die Einstellwerte der Farbfilter wurden nach einem Graukeil geeicht. Es wurden die Einstellwerte so lange geändert, bis der Wert aller Farbfilterkombinationen dem neutralen Wert entsprachen, so daß der Graukeil nach der Abtastung mit drei Farbfiltern rot, grün und blau auf dem Schirm insgesamt neutral erscheint.

3. Schritt: Für sämtliche Auswertebereiche und alle Spektralsauszüge wurden die in Kapitel 5 beschriebenen Texturparameter bestimmt. Durch interaktiven Dialog mußten hierzu über die Konsole vom Interpreten einzelne Steuerparameter für die Auswerteprogramme (Kapitel 6) vorgegeben werden. Diese Parameterwerte sind in Tabelle 7 zusammengefaßt. Ihre Bedeutung und Funktion wird in Kapitel 5 eingehender diskutiert.

Tabelle 7: Einstellwerte zur Programmsteuerung

Film Steuerparameter	IRC-Aufnahmen 1 : 10 000	IRC-Aufnahmen 1 : 50 000	Pen.-Aufnahmen 1 : 22 000
Schwelle für Grauwertvariationen	5	5	5
Schwelle für Intensitäten	111	113 ⁺ , 72 ⁺⁺	= Intensitätsmittelwert
Anzahl der Punkte als Einheitslänge	32	32	32
Schrittweite in Zeilen- und Spaltenrichtung	5	1	2

⁺ für den Bereich Kaiserstuhl bis Lehen

⁺⁺ für den Bereich Günterstal bis Schauinsland

4. Schritt: Mit dem 4. Schritt wurden die Untersuchungen auf die multispektralen Scanneraufzeichnungen ausgedehnt. Wiederum wurde versucht, in bestmöglicher Annäherung den jeweils gleichen Bestandesteil zu erfassen. Da auf den CCT's die Daten bereits in digitaler Form gespeichert sind, wurde eine Bildabtastung nicht benötigt. Vielmehr kam es darauf an, aus der Fülle der vorhandenen Digitalwerte diejenigen zu extrahieren, die in Bezug auf die Hasselbladaufnahmen die gleichen Bestandesteile in den gleichen Spektralbereichen beschreiben.

Mit Hilfe eines interaktiven Datenextraktionsprogramms wurden die Digitaldaten auszugsweise vom jeweiligen CCT auf das Comtel übertragen. Aus dieser Bildwiedergabe wurden anschließend die zu untersuchenden Bestandsbereiche ausgewählt und für die Weiterverarbeitung auf Platte zwischengespeichert.

Die Extraktion und Speicherung erfolgte zunächst für alle 11 Kanäle der M^2S -Aufzeichnungen.

Die visuelle Bewertung einzelner Bestände in den 11 Kanälen ließ erwarten, daß benachbarte Spektralbereiche stark korreliert sind und daher für die Untersuchungen nicht alle Kanäle betrachtet werden müssen. Auch die Menge der zu verarbeitenden Daten legte eine sinnvolle Datenreduktion nahe.

Aus diesen Gründen wurden zunächst die Interdependenzen zwischen den Informationen der benachbarten Kanäle für die aus rund 2200 m Höhe aufgenommenen Aufzeichnungen untersucht. Dies erfolgte stichprobenweise an einigen Beständen. Im Zuge dieser Untersuchung wurde festgestellt, daß es überflüssig ist, sämtliche Kanäle in die Untersuchung einzubeziehen. Für den sichtbaren Spektralbereich wurden die Kanäle 2, 4 und 7 und für den nahen Infrarot-Bereich wurde der Kanal 9 als geeignet festgestellt und für die weitere Auswertung festgelegt. Diese Kanal-Auswahl hat den zusätzlichen Vorteil, daß mit den Kanälen 4, 7, 9 diskrete schmale Bandbereiche der weiteren Untersuchungen zugrunde gelegt werden, die in der Mitte der Sensibilitätsbereiche der drei Emulsionen des IR-Farbfilmes liegen.

Alle weiteren Untersuchungen der M^2S -Aufzeichnungen, die aus 1000 m und 2200 m aufgenommen worden waren, erfolgten von nun an in den genannten 4 Kanälen. Für die Aufzeichnungen aus 4000 m Höhe ergaben Proben und auch schon der Augenschein bei visueller Interpretation der Analogabspielungen der CCT's, daß nur noch die Daten aus Kanal 9 hier brauchbare Texturinformationen enthalten. Die Auswertung der M^2S -Aufzeichnungen aus 4000 m

beschränkte sich daher auf die Analyse des Kanals 9.

Es konnten nicht alle der in den Luftbildern analysierten Bestände in die Auswertung der M²S-Aufzeichnungen einbezogen werden, da einige nicht durch die Befliegungen im FMP erfaßt wurden. In Tabelle 8 wird eine Übersicht der analysierten Bestände zusammen mit den jeweils vereinbarten Steuerparametern gegeben.

- Die Schwelle für Grauwertvariation (= 5) sowie die Schrittweite in Zeilen und Spaltenrichtung (= 1) ist für alle Auswertungen konstant -.

Tabelle 8: Übersicht der analysierten Bestände und die vereinbarten Steuerparameter für alle untersuchten Scanneraufzeichnungen

Flughöhe i.G. (m)	Anzahl und Typ der Bestände	Kanal-Nr.	Schwelle für Intensitäten	Anzahl der Punkte als Einheitslänge
1000	3 + Laubholz- mischbestän- de	2 4 7 9	55 66 46 106	16
2100	9 + Laubholz- mischbe- stände	2 4 7 9	65 77 59 90	8
	4 ++ Nadelholz- mischbestän- de	2 4 7 9	50 65 48 70	
4000	3 + Laubholz- mischbe- stände	9	111	8 +++

+ Bereich Keiserstuhl bis Lehen

++ Bereich Günterstal bis Schauinsland

+++ Auswertebereiche von 96 x 96 m (um bei kleinem Maßstab eine ausreichende Anzahl an Stichproben zu erhalten).

5. BESCHREIBUNG DER IN DIESER ARBEIT ANGEWANDTEN TEXTURPARAMETER.

5.1 Angabe der angewandten Texturparameter

- 1 - arithmetischer Mittelwert = $\bar{X}$
- 2 - Standardabweichung = S
- 3 - mittlere Häufigkeit der Grauwertschwankungen = GS
- 4 - mittlere Anzahl der hellen Stellen = NH
- 5 - mittlere Länge der hellen Stellen = LH
- 6 - Pearson'scher Variationskoeffizient = PV
- 7 - Häufigkeitsverteilung der Intensitätswerte (Histogramme)
= HI

5.2 Angabe der angewandten Steuerparameter

- 1 - Schwelle für Grauwertvariationen
- 2 - Schwelle für Intensitäten
- 3 - Anzahl der Punkte als Einheitslänge
- 4 - Schrittweite in Zeilen und Spaltenrichtung

5.3 Diskussion der Textur- und Steuerparameter

Nach folgenden Formeln wurden arithmetisches Mittel, Standardabweichung und Pearson'scher Variationskoeffizient berechnet:

$$\bar{X} = \frac{\sum n_i \times X_i}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum z_i (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$PV = \frac{S \times 100}{\bar{X}}$$

Verbindet man die einzelnen Grauwerte von einer Bildzeile in

Form einer graphischen Darstellung miteinander, so erzielt man eine Kurve nach Abb. 13.

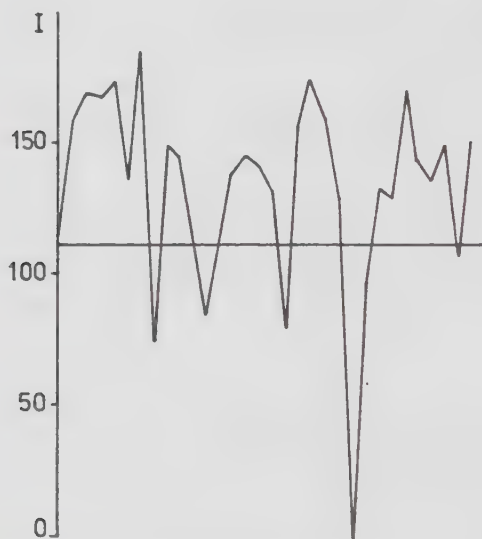


Abbildung 13: Densitogrammkurve eines Laubholzbestandes

Die Schwelle der hell- dunklen Stellen verläuft parallel zur Abszisse durch den Ordinatenwert 111. Diese Schwelle ist einer der wichtigsten Steuerparameter und hat eine entscheidende Auswirkung auf die Unterscheidbarkeit der Textur. Sie wird interaktiv als Schwelle für Intensitäten für jeden auszuwertenden Bereich neu definiert.

Alle Punkte, deren Werte oberhalb der Schwelle liegen, werden als helle und die Punkte mit Werten unterhalb der Schwelle als dunkle Stellen zusammengefaßt.

Wird die Schwelle für Intensitäten geändert, d.h. tiefer oder höher angesetzt, so ändern sich auch dementsprechend die Anzahl

und die Länge der hell-dunklen Stellen.

Um vergleichbare Auswerteergebnisse zu erzielen, wurde die Schwelle für Intensitäten innerhalb der Bilder gleicher Art und gleichen Maßstabs gleichgesetzt und zwischen den Bildern verschiedener Art und verschiedenen Maßstabs geändert. Sie wurde ebenso, wo es nötig war, nach dem Standort geändert. Im folgenden wird die logische Folgerung der Steuerparameter beschrieben:

Schwelle für Grauwertvariationen:

Definiert wird, ab welchem Grauwertunterschied zwischen einem relativen Maximum und Minimum (bzw. Min. und Max.) wirklich eine Variation (ein Grauwertwechsel) zu zählen ist.

Schwelle für Intensitäten:

Angabe für eine Binärisierung: Werte unterhalb der Schwelle entsprechend dunkel, Werte größer oder gleich der Schwelle entsprechend hell.

Anzahl der Punkte als Einheitslänge:

Angabe, auf wie viele Bildpunkte die Häufigkeitsvariation bzw. die Anzahl und Länge der hellen Stellen bezogen werden soll. Feste Bezugsgröße statt variabler Zeilenlänge.

Schrittweite in Zeilen und Spaltenrichtung:

Angabe, welche Abtastpunkte und -zeilen ausgewertet werden sollen,
1 $\hat{=}$ alle Punkte pro Zeile und jede Zeile im Ausschnitt.
2 $\hat{=}$ jeder zweite Punkt und jede zweite Zeile usw.

Einfluß der Schwellenwerte und Bezugswerte:

Arithmetischer Mittelwert der Intensitäten, Standardabweichung und Varianz der Intensitätsverteilung werden durch die Schwellenwerte nicht beeinflußt.

Zur Bestimmung der mittleren Grauwertschwankung (Grauwertfrequenz) wird die Schwelle der Grauwertvariationen vom Benutzer

angegeben. Diese bestimmt, ab welchem Grauwertbetrag zwischen einem benachbarten relativen Maximum und Minimum eine Grauwertschwankung in die Summation aufgenommen wird. Durch diese Angabe können hohe - aber bezügl. Grauwertschwankung sehr kleine - Grauwertfrequenzen (Rauschen) unterdrückt werden.

Die Bezugnahme auf eine Einheitslänge für 3., 4. und 5. Texturparameter dient dazu, von der willkürlichen, in der Regel unterschiedlichen Zeilenlänge bei den durch die Rollkugelmarkierung ausgewählten Mustern unabhängig zu werden und Bereiche mit unterschiedlichen Zeilenlängen miteinander vergleichen zu können.

Die Schwelle der Intensitäten dient als Angabe, ab welchem Grauwert der jeweilige Bildpunkt zu einer hellen Fläche zu zählen sein soll. Die erste Auswerteserie zeigte, daß eine willkürliche feste Vorgabe keine guten Vergleichswerte liefert. Besser ist, wenn der Anwender den jeweiligen Intensitätsmittelwert einsetzt (2. Serie), der sich als optimaler Schwellenwert für sämtliche mit mehreren Schwellen untersuchten Objekte erweist.

5.4 Eigenschaften und Funktionen der einzelnen Texturparameter

Bei den vorliegenden Untersuchungen handelt es sich um eine Reihe von Messungen aus einer Gesamtheit gleichartiger Einzelobjekte, die jedoch als Stichproben sowohl in ihrer Eigenschaft als auch in ihrer Funktion die Grundgesamtheit repräsentieren. Hierdurch entstehen mannigfaltige Zahlenwerte.

Eine der wichtigsten Aufgaben der statistischen Auswertung ist die Reduzierung und Verdichtung des Zahlenmaterials. Dabei werden statistische Maßzahlen berechnet, die das ganze Material repräsentieren und ersetzen oder zum Teil auch näher beschreiben.

Die Maßzahlen müssen passend, wirksam und erschöpfend sein. Eine statistische Maßzahl ist passend, wenn sie mit wachsendem Umfang der Stichproben immer weniger von der entsprechenden Maßzahl der Grundgesamtheit abweicht. Sie ist wirksam, wenn sie bei Wiederholung der Stichproben am wenigsten variiert, und schließlich erschöpfend, wenn sie für die betreffende Gesamtheit genügt" (Prodan 1961).

Nach Prodan sind die wichtigsten statistischen Maßzahlen die Mittelwerte und die Streumaße.

Die 1. und 2. Texturparameter, nämlich das arithmetische Mittel und die Standardabweichung, bieten dementsprechend durch ihre besonderen Eigenschaften bessere statistische Voraussetzungen zur Darstellung und Beschreibung der Textur.

Das arithmetische Mittel = $\bar{X}$

ist hier ein Bestimmungsmaß zum Helligkeits- bzw. Dunkelheitsgrad eines Objektes oder eines Objektkomplexes.

Es ist ein wichtiger Erkennungsparameter zur Unterscheidung sonst mehr oder weniger gleicher Texturen mit verschiedenen Helligkeitsintensitäten. Zweifellos ist es eine Frage der Definition, ob man das arithmetische Mittel der Intensitätswerte der die Objektabbildung bestimmenden Bildpunkte als "Texturparameter" auffaßt. Hier wird dies aus guten Gründen getan. Zwischen $\bar{X}$ und den weiteren für die Beschreibung der Textur heranzuziehenden Parametern bestehen unmittelbare sachliche und / oder mathematische Beziehungen.

Standardabweichung = S

charakterisiert die Kontrastunterschiede innerhalb eines Objektes oder eines Objektkomplexes. Akça definierte diesen Parameter als Amplitude einer Textur.

Da die Streuung der einzelnen Bildelemente in Bezug auf das

arithmetische Mittel zum Ausdruck kommt, fällt demnach die größere Streuung von $\bar{X}$ stärker ins Gewicht.

Daher sind die Texturen mit höheren S-Werten kontrastreicher als die Texturen mit niedrigeren S-Werten.

Dieser Parameter eignet sich vor allem zur Differenzierung der Texturen verschiedener Objekte. Bei den Objekten, die glattere Texturen aufweisen, ist die Standardabweichung sehr niedrig. Daher kann man allgemein festlegen, daß je glatter eine Textur ist, desto niedriger die S-Werte sind, und umgekehrt.

Die mittlere Häufigkeit der Grauwertschwankung = GS

gibt an, wie häufig ein Grauwertwechsel vom relativen Maximum zum Minimum hin oder umgekehrt zwischen den benachbarten Bildelementen stattfindet. Sie ist ein wichtiger Parameter zur Darstellung des Rauhigkeits- bzw. Feinheitgrades einer Textur. Dieser Parameter eignet sich zur Differenzierung der Altersklassenunterschiede zwischen Objekten gleicher Art, er ist aber auch ein guter Erkennungsparameter zur Differenzierung der Texturen verschiedener Objekte.

Im allgemeinen besitzen die Feintexturen eine höhere Grauwertfrequenz als die gröberen Texturen, und damit haben auch die Jungbestände relativ höhere GS-Werte als die Altbestände. Sehr kleine, häufig und dann zumeist regelmäßig auftretende Schwankungen im Densitogramm einer Texturlinie können auch durch Bildrauschen zustande gekommen sein. Daher wurde der 1. Steuerparameter, nämlich die Schwelle für Grauwertvariation, angewandt, um die Wirkung des Bildrauschens eliminieren zu können.

Die Schwelle muß für Objekte mit ausgesprochenen Feintexturen, wie z.B. eine Wiese, anders als für Objekte mit typischen Grobtexturen, wie z.B. einen bestimmten Waldbestand, gewählt werden. Da im Rahmen dieser Arbeit nur Waldbestände untersucht wurden, konnte in diesem Falle für alle Testobjekte eine ein-

heitliche Schwelle für die Grauwertvariation festgelegt werden.

Nach einer Reihe von empirischen Voruntersuchungen wurden als Schwelle 5 Grauwerteinheiten gewählt.

Mittlere Anzahl und Länge der hellen Stellen = NH, LH

Diese beiden Parameter liefern neben der mittleren Häufigkeit der Grauwertschwankungen einen wichtigen Informationswert zur Erkennung der Rauheit der Textur. Durch diese beiden Parameter werden nicht nur die Häufigkeit des Wechsels zwischen hellen und dunklen Bildelementen innerhalb der abgetasteten Bildstrecke erfasst, sondern durch die Angabe der Länge von hellen Stellen wird dazu beigetragen, die dimensionale Größe der Grauwertfrequenz innerhalb der gegebenen Linie oder Fläche zu erfassen.

Durch die Schwelle für Intensitäten (siehe Abb. 13, Abschnitt 5.3) wird ein Mindestmaß festgelegt, wobei diese Schwelle die Grenze zwischen hell-dunklen Bildelementen bildet.

Die Schwelle soll wegen der besseren Vergleichbarkeit innerhalb der gleichen Objekte bzw. Objektkomplexe gleich und zwischen Objekten verschiedener Arten unterschiedlich gewählt werden, da ja die Objekte mit Feintexturen eine andere Grauwert-Häufigkeitsverteilung haben als die Objekte mit den gröberen Texturen.

Die Schwelle muß an Hand von einigen empirischen Untersuchungen so gewählt werden, daß die optimale Lage der Schwelle repräsentativ für alle mit dieser Schwelle untersuchten Objekte ist.

Die Anzahl der hellen Stellen verhält sich umgekehrt proportional zur Länge der hellen Stellen.

Vorausgesetzt, daß die Schwelle für Intensitäten gleich oder

annähernd dem Intensitätsmittelwert gewählt wird, wird die Anzahl der hellen Stellen bei den Objekten mit Grobtexturen niedriger als bei den Objekten mit Feintexturen. Umgekehrt ist die Länge der hellen Stellen bei den Grobtexturen relativ größer als bei den Feintexturen.

Pearson'scher Variationskoeffizient = PV

Dieser Parameter gibt die Streuung der Grauwerte in Prozent des arithmetischen Grauwertmittels an. Er ist umgekehrt proportional zu den $\bar{X}$ - und direkt proportional zu den S-Werten.

Nach den vorliegenden Ergebnissen haben die Nadelhölzer höhere PV-Werte als die Laubhölzer, und auch bei den Altbeständen sind sie relativ höher als bei den Jungbeständen. Das bedeutet, daß die Nadelhölzer relativ kontrastreicher sind als die Laubhölzer und weiterhin die Altbestände kontrastreicher sind als die Jungbestände.

Häufigkeitsverteilung der Intensitätswerte (Histogramm) = HI

Dieser Parameter liefert wichtige Indizien zur Differenzierung der Objekte verschiedener Arten. An Hand von Intensitätswerten jedoch ohne Berücksichtigung der Texturmerkmale, gewinnt man einen guten Überblick zur gröberen Unterscheidung der Objekte verschiedener Arten.

Die Berücksichtigung anderer Texturmerkmale ist jedoch unerläßlich für die exakte bzw. feinere Trennung der Objekte.

6. PROGRAMMBESCHREIBUNG

Im folgenden werden die für die Untersuchung entwickelten Fort-
ranprogramme kurz beschrieben:

6.1 Hauptprogramm

FOREST:

Das Hauptprogramm dient zum interaktiven Nutzer-Rechner-Dialog,
zur Ablaufsteuerung für die einzelnen Unterprogramme und zur
Ausgabe der berechneten Werte für:

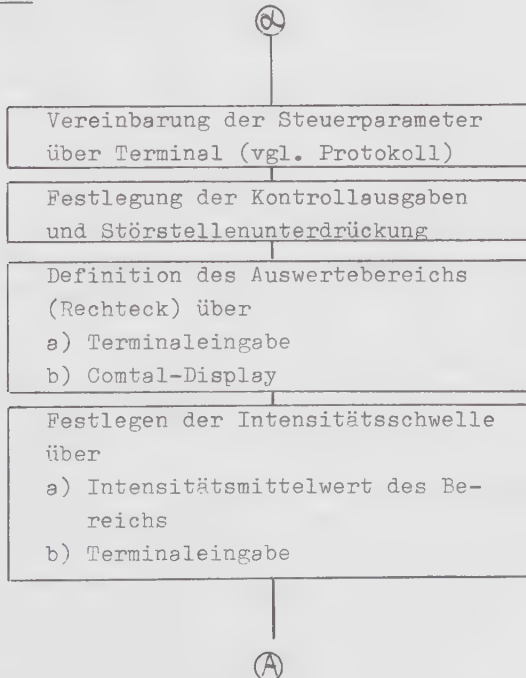
den arithmetischen Mittelwert

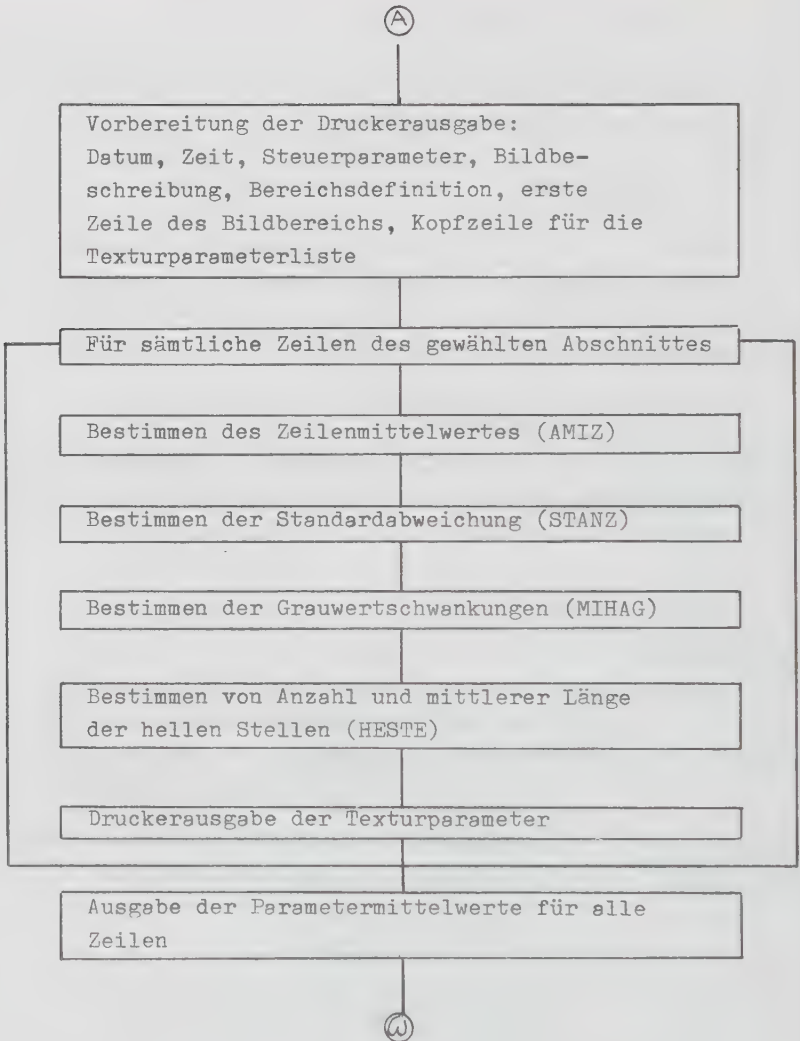
die Standardabweichung

die mittlere Häufigkeit der Grauwertschwankung

die mittlere Anzahl und mittlere Länge der hellen Stellen über
einzelnen Bildzeilen.

Ablaufdiagramm: (FOREST)





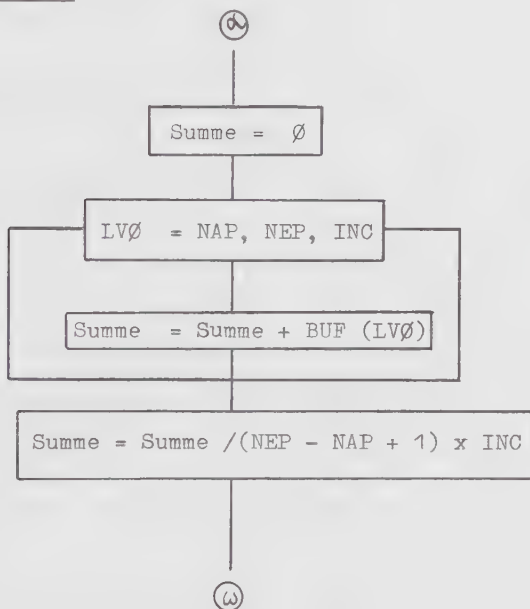
6.2 Unterprogramme

AMIZ:

Dieses Unterprogramm ermittelt den arithmetischen Mittelwert

(AVERA) für den Bereich einer in BUF gespeicherten Bildzeile. Der Bereich ist durch die Schrittweite INC, den Anfangs- (NAP) und Endpunkt (NEP) definiert.

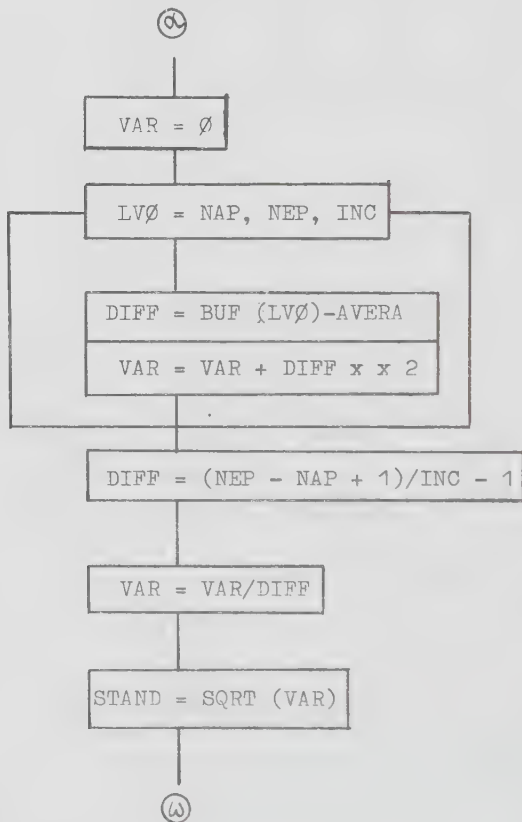
Strukturdiagramm: (AMIZ)



STANZ:

Dieses Unterprogramm ermittelt die Standardabweichung (STAND) für den Bereich einer in BUF gespeicherten Bildzeile. Der Bereich ist durch die Schrittweite INC, den Anfangs- (NAP) und Endpunkt (NEP) definiert. Außerdem muß der arithmetische Mittelwert (AVERA) für den Bereich bereits vorliegen.

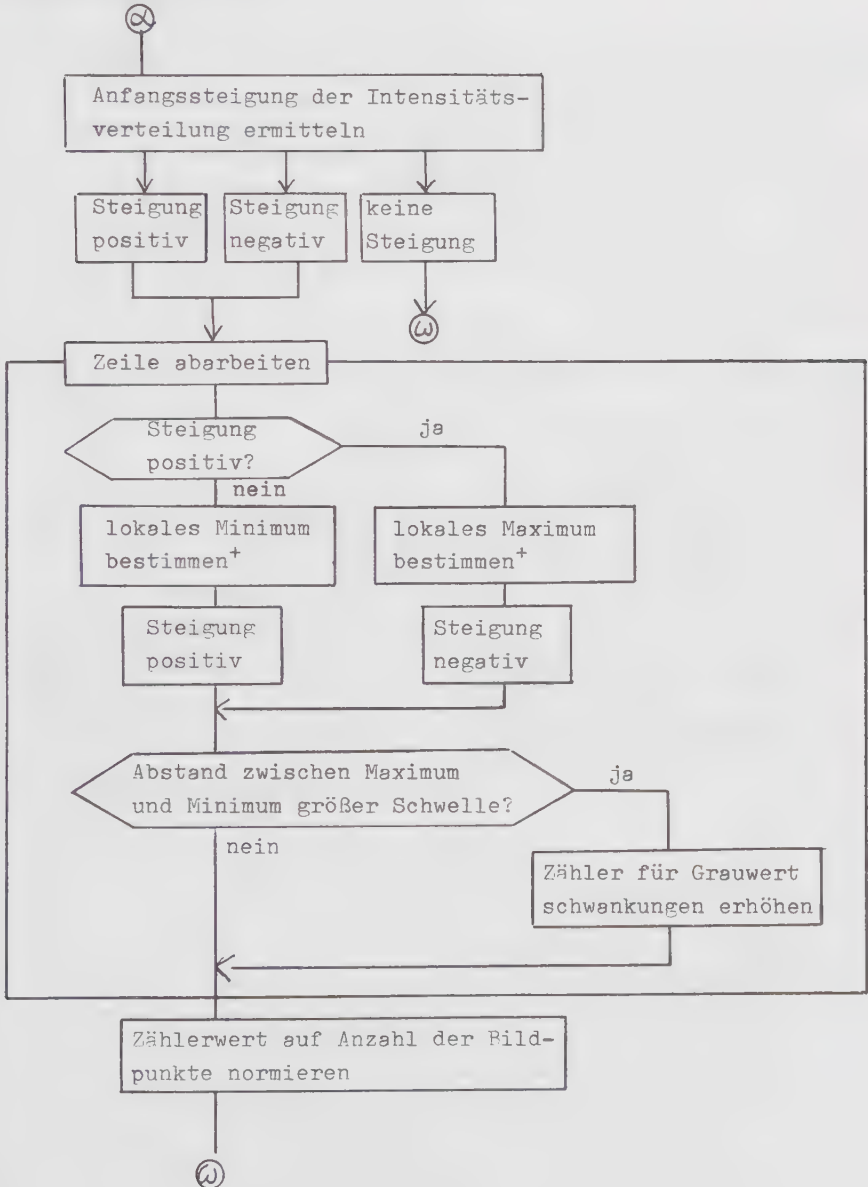
Strukturdiagramm: (STANZ)



MIHAG:

Dieses Unterprogramm bestimmt die mittlere Häufigkeit der Grauwertschwankungen (VARIA) für den Bereich einer in BUF gespeicherten Bildzeile. Der Bereich ist durch die Schrittweite INC, dem Anfangs- (NAP) und Endpunkt (NEP) definiert. Vorgegeben wird die Schwelle (LIM), ab der eine Variation zu zählen ist und die Anzahl der Bildpunkte (NPU), auf welche die Häufigkeit bezogen werden soll.

Ablaufdiagramm: (MIHAG)

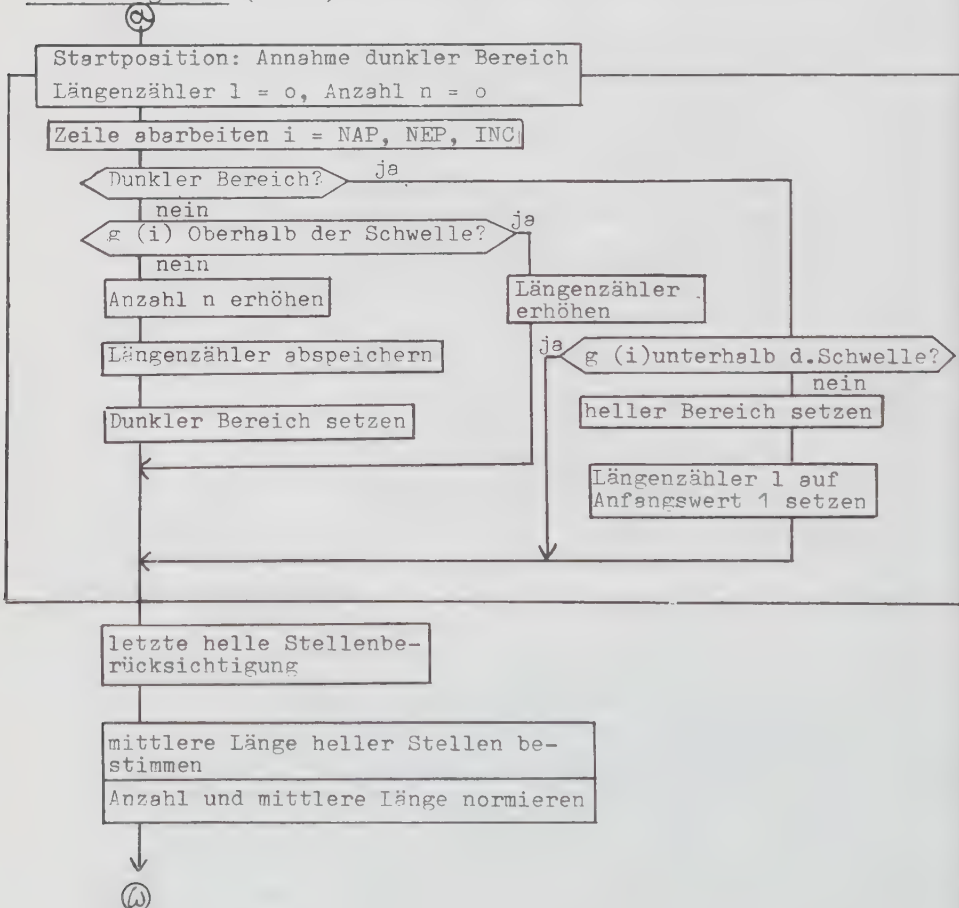


+ mit oder ohne Störstellen-
unterdrückung

HESTE:

Dieses Unterprogramm bestimmt die mittlere Anzahl (HESTN) und die mittlere Länge (HESTL) der hellen Stellen für den Bereich einer in BUF gespeicherten Bildzeile. Der Bereich ist durch die Schrittweite INC, durch den Anfangs- (NAP) und Endpunkt (NEP) definiert. Vorgegeben wird die Schwelle (INTE), ab der die Intensität als hell bezeichnet wird, sowie die Anzahl der Bildpunkte (NPU), auf welche die Ergebnisse bezogen werden sollen.

Ablaufdiagramm: (HESTE)



6.3 Rechnerprotokoll und Druckerprotokolle

6.31 Rechnerprotokoll

Das vorliegende Rechnerprotokoll Tab. 9 verdeutlicht den Dialogverkehr zwischen Mensch und Rechner zur Festlegung der Steuerparameter für die Bewertung eines Waldbestandes.

Tab. 9: Beispiele für den Dialogverkehr zur Auswertung eines Waldbestandes

```

MCR>RUN DBO:FOREST$
SOLL DIE ERSTE ZEILE ZUR KONTROLLE AUSGEGEBEN WERDEN ?
1=JA,2 UND MEHR = NEIN
KOZE = 1
NUMMER DER BILDPLATTE (0-2) ANGEBEN
NBI= 0
STOERSTELLEN ABFRAGEN? 1=JA,2 UND MEHR=NEIN
NST= 2
KOORDINATENEINGABE - 1 = UEBER TERMINAL,
2 = MIT ROLLKUGEL
EINGABE =
1
GEBEN SIE BITTE DIE ANFANGS- UND ENDKOORDINATEN AN
XA,YA,XE,YE = 193,251,352,410
SCHWELLE FUER GRAUWERTVARIATION = 5
SETZEN DER INTENSITAETSSCHWELLE
1 = MITTELWERT, 2 = TERMINALEINGABE
ZAHL = 2
SCHWELLE FUER INTENSITAETEN = 111
ANZAHL DER PUNKTE ALS EINHEITSLAENGE = 32
SCHRITTWEITE IN ZEILEN- UND SPALTENRICHTUNG = 5
BILDBESCHREIBUNG (MAX. 80 ZEICHEN PRO ZEILE)
BILD40G.07M MASSSTAB 1:10000
1-ZEILE WIEDERHOLEN, 2-WEITERE EINGABEZEILE, 3-INPUT ENDE
3
ZEILENWERTE AUSDRUCKEN?
1=JA,2 UND MEHR=NEIN
JANEIN= 1
PROGRAMM DURCHLAUFEN, 1 - WEITERMACHEN
2 UND MEHR - ENDE ? - 2

```

6.32 Druckerprotokolle

Nach der Bewertung der Zahlenwerte über die einzelnen Unterprogramme werden zur weiteren Auswertung Druckerprotokolle erstellt. In diesen sind die Ergebnisse für die einzelnen bewerteten Bildzeilen (Tab. 10) und die Gesamtbewertung für den Bildbereich (Tab. 11) wiedergegeben.

Tab. 10: Druckerprotokoll für den ausgewerteten Forstbestand
- Einzelbewertung der Bildzeilen

LAUF VOM 21-JAN-77 UM 11:10:14 UHR

A. MASUMY

MIT FOLGENDEN VEREINBARUNGEN:

SCHWELLE FÜR GRAUWERTVARIATION = 5

SCHWELLE FÜR INTENSITÄTEN = 111

ANZAHL DER PUNKTE ALS EINHEITSLÄNGE = 32

SCHRITTWEITE IN ZEILEN- UND SPALTENRICHTUNG = 5

OHNE STÖRSTELLEN UNTERDRÜCKUNG

COMIAL-PLATTEN-NUMMER = 0

BILDBESCHREIBUNG:

BILD496,07M MASSSTAB 1:10000

AUSWERTUNG DES BILDRECHTECKS VON 193 251 BIS 352 410

KONTROLLAUSDRUCK DER GRAUWERTE VON ZEILE 1

108	170	165	42	50	161	159	149	148	84
115	156	133	131	42	0	56	144	151	131
115	95	96	145	150	179	174	165	125	0
69	0								

DATENAUSWERTUNG ZEILENWEISE:

ZEILEN- NUMMER	ARITHM. MITTEL	STAND. ABW.	GRAUW. SCHWAN.	N HELLE STELLEN	L HELLE STELLEN
251	114.22	55.07	10.000	5.000	4.200
256	112.53	52.21	16.000	5.000	4.400
261	101.19	42.82	16.000	7.000	2.143
266	73.81	46.82	16.000	7.000	1.143
271	71.13	57.05	13.000	4.000	2.500
276	91.34	49.50	21.000	9.000	1.556
281	92.38	53.01	10.000	9.000	1.778
286	96.09	49.59	16.000	8.000	1.750
291	100.22	55.45	16.000	7.000	2.429
296	69.00	59.83	14.000	6.000	2.000
301	91.88	49.00	17.000	7.000	2.286
306	94.59	57.92	16.000	5.000	3.000
311	77.81	55.57	16.000	7.000	1.857
316	64.07	49.77	19.000	3.000	2.667
321	88.63	51.65	16.000	7.000	1.857
326	106.50	50.47	18.000	4.000	4.500
331	81.28	55.06	17.000	4.000	3.000
336	73.19	48.13	21.000	7.000	1.571
341	98.38	48.80	12.000	6.000	2.500
346	71.97	51.54	21.000	4.000	2.500
351	66.08	57.68	12.000	4.000	2.500
356	45.44	53.79	17.000	6.000	1.167
361	76.97	55.75	16.000	7.000	2.000
366	68.03	50.74	13.000	5.000	2.600
371	67.00	54.51	18.000	6.000	1.333
376	40.13	48.53	19.000	7.000	1.571
381	68.47	63.89	16.000	5.000	2.400
386	75.00	50.00	17.000	5.000	1.800
391	76.04	54.51	17.000	5.000	2.400
396	40.89	61.00	19.000	6.000	2.667
401	51.94	65.73	11.000	3.000	3.000
406	57.97	53.19	14.000	5.000	1.600

Tab. 11: Druckerprotokoll für den ausgewerteten Forstbestand
- Bewertung des Gesamtbereichs

BEWERTUNG DES GESAMTEN RECHTECKS - SUMMENWERTE DER

ARITHM. INTENSITAETSMITTELWERTE=	2595,4375
STANDARDABWEICHUNGEN=	1717,2224
GRAUWERTSCHWANKUNGEN=	816,0000
ANZAHL HELLER STELLEN=	185,0000
MITTLEREN LAENGE HELLER STELLEN=	74,6738

- MITTELWERTE DER

ARITHM. INTENSITAETSMITTELWERTE=	81,1074
STANDARDABWEICHUNGEN=	53,6632
GRAUWERTSCHWANKUNGEN=	16,1575
ANZAHL HELLER STELLEN=	5,7812
MITTLEREN LAENGE HELLER STELLEN=	2,3536

7. AUSWERTUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Aus der Fülle der umfangreichen experimentellen Arbeiten sind mannigfaltige Daten und Komputerausdrücke angefallen. Sie sollen dazu beitragen, folgenden im Kapitel 3 bereits beschriebenen Fragen nachzugehen:

- inwieweit lassen sich durch die Analyse der Textur- und Farbparameter an Hand von Luftbildern und Multispektralaufzeichnungen verschiedene Waldtypen mit unterschiedlichen Altersklassen trennen bzw. identifizieren?
- inwieweit können die Texturmerkmale durch die Verschiedenheit des Standortes beeinflußt werden?
- inwieweit werden die Texturmerkmale durch die Veränderung des Maßstabs beeinflußt?
- inwieweit sind die Textur- bzw. Farbparameter bildortabhängig?

7.1 Analyse und Diskussion der Ergebnisse zur Charakterisierung der Texturmerkmale zum Zwecke der Identifizierung von Waldtypen unterschiedlicher Art und Altersklasse.

7.11 Analyse der Textur an Hand von Infrarotfarbaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. mit neutralem Filter.

In folgenden Beispielen wird versucht, die Trennkraft der Texturparameter zum Zwecke der Identifikation von Waldtypen nach Art und Altersklasse zu prüfen.

Abb. 14 stellt graphisch die Intensitätsmittelwerte aller 55 Untersuchungsobjekte (vgl. Kap. 4.2) ohne Rücksicht auf deren Bildortlage und ihren Standort, jedoch in Abhängigkeit vom Waldtyp un

Altersklasse dar. Für diese Darstellung wurde das Ergebnis der Auswertung der IRC-Hasselbladaufnahmen 1 : 10 000 mit neutralem Filter gewählt.

Schon bei der Betrachtung dieser einfachen Gegenüberstellung wird deutlich, daß eine Trennung zwischen den Laubholz- und den alten und mittelalten Nadelholzbeständen allein aufgrund des Intensitätsmittelwertes weitgehend möglich ist. Dies bestätigt ein Ergebnis von Akça (1970), der nach vergleichenden mikrodensitometrischen Untersuchungen von Fichten- und Buchenbeständen auf panchromatischen (Herbst)-Aufnahmen auch deutliche Unterschiede der Intensitätsmittelwerte belegen konnte. Es bestätigt zudem die allgemeine Interpretationserfahrung von Luftbildern und es entspricht den aus Ergebnissen von spektralen Reflexionsmessungen abzuleitenden Erwartungen. Über die letztgenannten Erwartungen und Erfahrungen hinaus zeigt Abb. 14 jedoch, daß die Variation der einzelnen Merkmalswerte innerhalb der gleichen Bestände (insbesondere bei Laubhölzern) trotz unterschiedlicher Bildortlage geringer ist als zwischen den Waldtypen verschiedener Art. Auch diese Aussage bestätigt, daß die Trennung zwischen den bestimmten Waldtypen, in diesem Falle zwischen Laubhölzern und Nadelhölzern, aufgrund dieses Parameters möglich ist. Dagegen tritt die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Altersklassen des gleichen Waldtyps nicht in allen Fällen deutlich in Erscheinung. Die Unterschiede zwischen den Alt- und Jungbeständen sind zwar eindeutig, während die Unterscheidung zwischen den mittelalten und den jungen Beständen bzw. zwischen den mittelalten und alten Beständen jedoch schwierig oder nicht möglich ist.

Man muß bedenken, daß die hier gewählte Abgrenzung "jung" - "mittelalt" - "alt" nach forstwirtschaftlichen Gesichtspunkten zu treffen ist, was nicht unbedingt mit möglichen fernerkundungsrelevanten Texturunterschieden zusammenfällt. So ähneln die Texturen älterer "mittelalter" Bestände natürlich mehr den "alten" und die der jüngeren "mittelalten" mehr den "jungen".

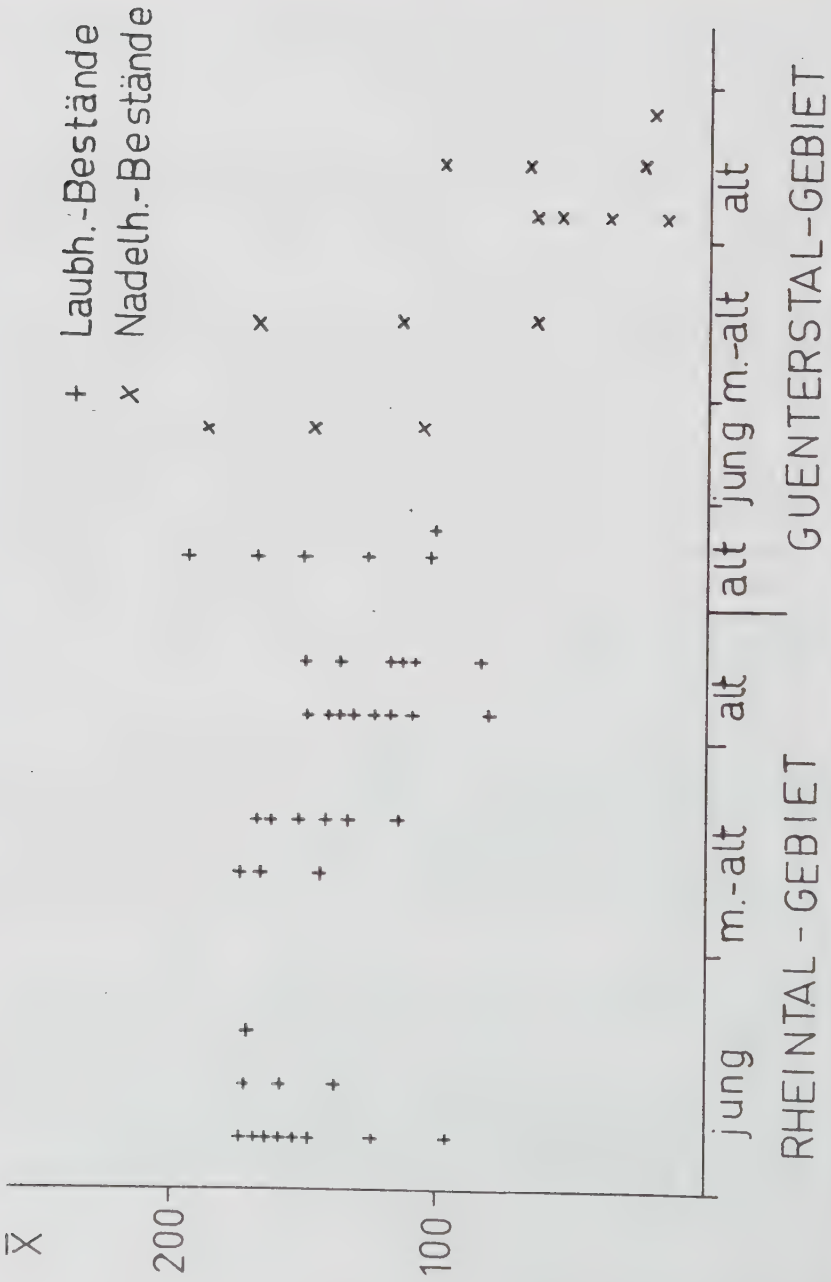


Abb. 14: Graphische Darstellung der Intensitätsmittelwerte ($\bar{X}$) ohne Berücksichtigung der Bildgröße; IRC-Aufnahmen Flughöhe ca. 800 m ü.G.

Als Klassifizierungsproblem taucht diese Abgrenzungsfrage an jeder Altersklassengrenze auf. Dies spricht dafür, nur eine sinnvolle Anzahl von Klassen zu bilden. Man sollte hier erwähnen, daß z.B. die mitteleuropäische Forstwirtschaft in der Regel nach 20-jährigen Altersklassen gliedert, dies würde etwa bei 120-jährigem Umtrieb die Bildung von 6 Klassen bedeuten. Die Übergänge der Texturunterschiede von 6 Klassen sind jedoch so mannigfaltig, daß eine so weitgehende Klassifizierung anhand von Textur-, aber auch Multispektral-Parametern - obwohl wünschenswert - von der Technologie der Fernerkundung her nicht sinnvoll erscheint. Die Gliederung nach drei Altersklassen erscheint unter diesen Umständen sinnvoll und auch forstwirtschaftlich ohne Zweifel noch nützlich. Durch die Stratifizierung nach Lage der abgebildeten Testobjekte auf den Luftbildern kann man erreichen, daß einerseits die Überschneidungen der einzelnen Merkmalswerte zwischen den einzelnen Altersklassen des gleichen Waldtyps geringer wird und andererseits die Unterscheidbarkeit zwischen den verschiedenen Waldtypen noch größer wird.

In Abb. 15 sind als Auszug aus Abb. 14 nur die Mittelwerte solcher Testobjekte dargestellt, die in mittleren Bildortlagen abgebildet waren.

Abb. 15 bestätigt die oben im Zusammenhang mit der Stratifizierung erwähnten Aussagen deutlich.

Die wichtige Frage der Bildortabhängigkeit wird später gesondert im Abschnitt 7.3 behandelt.

Abb. 16 zeigt zusätzlich zu Abb. 15 die Säulendiagramme der in Bildmittellage erfaßten Untersuchungsbestände in Abhängigkeit des Intensitätsmittelwertes und der jeweiligen Standardabweichung.

Die Säulenhöhe bezeichnet den arithmetischen Mittelwert, der schwarz dargestellte Teil der jeweiligen Säule zeigt die Standardabweichung. Eine Ausnahme hiervon bilden lediglich die bei-

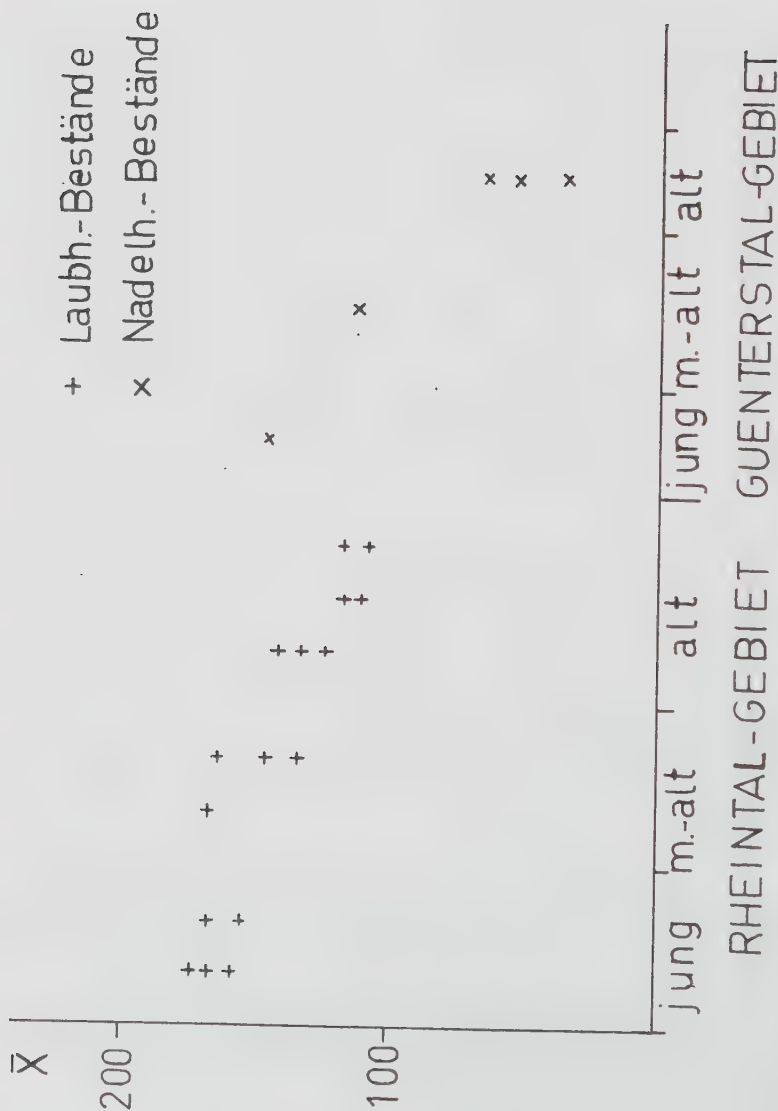
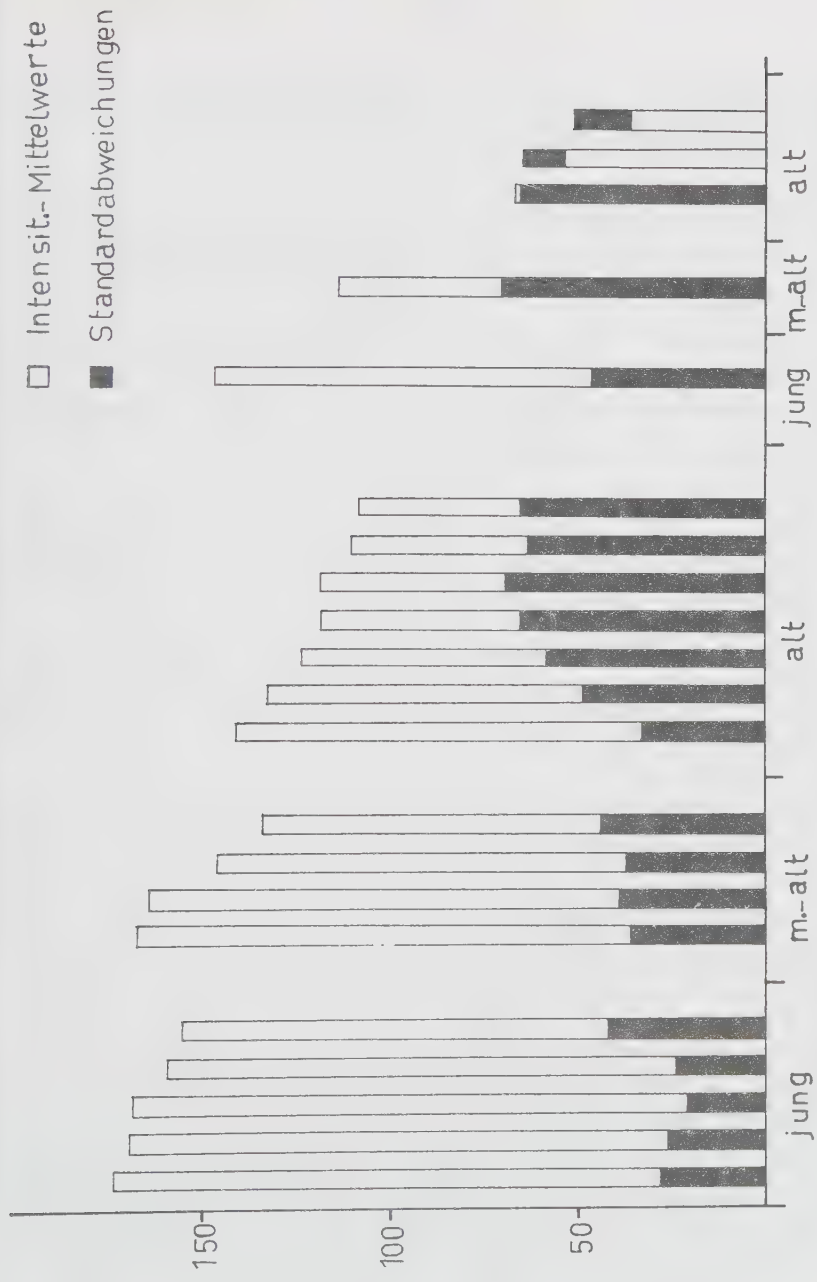


Abb. 15: Graphische Darstellung der Intensitätsmittelwerte ($\bar{X}$) von Testobjekten in mittleren Bildortlagen; IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.



LAUBHOLZ - BESTAENDE
NADELHOLZ - BESTAENDE

Abb.16: SAEULENDIAGRAMME VON TESTBESTAENDEN IN BILDMITTELLAGE, IRC - AUFNAHMEN, FLUGHÖHE ca. 800 m ü.G.

den letzten Säulen, bei denen die Standardabweichung größer ist als der Intensitätsmittelwert.

Nach der Stratifizierung sieht man in Abb. 16 eine deutliche Abnahme der Intensitätsmittelwerte sowohl zwischen den einzelnen Altersklassen des jeweiligen Waldtyps als auch zwischen gleich alten Beständen verschiedenen Waldtyps.

Die Standardabweichung verhält sich dagegen umgekehrt, d.h. daß die Werte der Standardabweichung eine zunehmende Tendenz von den Lbh-Beständen zu den Ndh-Beständen hin und von den jeweils jungen zu den alten Beständen zeigen.

Diese Tendenz wird noch erheblich deutlicher und auch für den Vergleich zwischen den alten Laubholzbeständen und der Gruppe der Nadelholzbestände sichtbar, wenn man anstelle der absoluten Werte der Standardabweichung einen relativen Streuungswert setzt.

Die Pearson'schen Variationskoeffizienten stellen die Standardabweichungen zum dazugehörenden arithmetischen Mittel in Beziehung. Sie geben die Standardabweichung in Prozent vom arithmetischen Mittel an.

Vergleicht man die PV-Werte in der Tabelle 12, Spalte 8 miteinander, so stellt man fest, daß die PV-Werte bei den Nadelhölzern im Schnitt doppelt so groß sind wie bei den Laubhölzern.

An Hand von PV-Werten sichtbar, besteht ebenfalls eine deutliche Unterscheidbarkeit zwischen den Altersklassen des gleichen Waldtyps.

Die Standardabweichung und der Pearson'sche Variationskoeffizient tragen dazu bei, die Kontrastunterschiede der einzelnen Texturmerkmale aufzuzeigen.

Die Standardabweichung zeigt zwar die Kontraste der Texturmerkmale deutlich an, kann aber in einigen Fällen die Kontrastunterschiede nicht in allen Fällen deutlich ausdrücken.

Tab. 12: Auswerteergebnisse der untersuchten Waldbestände für Laub- und Nadelholztypen getrennt nach Altersklassen. (IRC-Aufnahmen, Flughöhe: ca. 800 m ü.G.)

Best. Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	$\bar{x}$	s	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	141,73	32,97	16,93	3,75	11,42	23,26
5	"	110,90	64,18	15,59	6,00	3,56	57,87
6	"	132,99	48,66	16,28	4,50	6,48	36,58
8	"	124,10	59,42	15,43	4,46	6,35	47,88
12	"	109,05	66,10	15,93	5,34	3,67	60,67
13	"	118,76	70,21	14,81	4,96	4,55	59,14
14	"	118,78	66,12	14,03	4,28	5,48	55,66
3	Laubh.-Mittelaltbest.	145,77	36,79	17,84	3,46	11,06	25,23
7	"	134,05	43,64	19,03	5,59	4,95	32,55
11	"	163,73	38,74	17,12	2,71	14,03	23,66
15	"	167,46	36,52	15,56	2,59	15,04	21,80
2	Laubh.-Jungbest.	173,15	28,44	18,90	2,03	18,89	16,42
9	"	159,34	24,48	18,56	2,18	18,85	15,36
10	"	169,42	25,68	17,50	1,78	22,77	15,15
17	"	154,78	41,76	18,12	3,43	10,18	26,98
18	"	168,45	21,27	18,37	1,56	24,76	12,62
19	Nadelh.-Altbest.	54,08	64,71	10,78	4,68	2,03	119,65
21	"	66,84	66,02	14,46	5,75	2,05	98,77
25	"	36,36	50,90	10,37	3,34	1,59	139,98
24	Nadelh.-Mittelaltb.	114,17	70,73	17,21	6,68	3,11	61,95
22	Nadelh.-Jungbest.	147,49	47,39	16,43	3,96	7,53	32,13

Durch die Anwendung des Pearson'schen Variationskoeffizienten werden offensichtlich auch sehr feine Kontrastunterschiede deutlich. Durch ihn kann nämlich gezeigt werden, daß ein bestimmtes Objekt trotz eines absolut größeren Wertes der Standardabweichung ggf. deutlich weniger kontrastreich (in diesem Falle z.B. Laubhölzer) ist als ein anderes Objekt mit vergleichsweise niedrigerem Wert der Standardabweichung, aber eben auch geringerem $\bar{X}$ (z.B. Nadelhölzer), (vgl. hierzu die $\bar{X}$ -, S- und PV-Werte in der Tabelle 12). Es ist anzunehmen, daß die hier an den verschiedenartigen Waldobjekten gemachten Erfahrungen auch auf andere Objekte der Erdoberfläche angewandt und insoweit verallgemeinert werden können.

Zweifellos wird durch Anwendung des Pearson'schen Variationskoeffizienten allein oder in Verbindung mit den Absolutwerten der Standardabweichung oder des arithmetischen Intensitätsmittelwertes die Trennung verschiedener Objekt ermöglicht.

Durch die 3., 4. und 5. Texturparameter (GS, NH und LH, vgl. Kap. 5.1) werden Aussagen über die Feinheit der Textur gemacht. Von entscheidender Bedeutung für das Ergebnis entsprechender Analysen ist dabei jedoch die Wahl des Schwellenwertes. Dieser Aspekt wird noch ausführlicher erläutert.

Abb. 17 zeigt die Variation der Merkmalswerte in Abhängigkeit von NH = Ordinate und LH = Abszisse bei gleichem Schwellenwert für alle Waldtypen und Altersklassen.

Abgesehen von einigen wenigen Überschneidungen, die jedoch auch zum Teil durch die Standortsunterschiede bedingt sind, zeigt die Abb. 17, daß die Länge der hellen Stellen bei den Laubholzbeständen von den alten zu den jungen Beständen hin in der Mehrzahl der überwiegenden Fälle zunimmt. Die Anzahl der hellen Stellen nimmt dagegen von den alten zu den jungen Beständen hin ab.

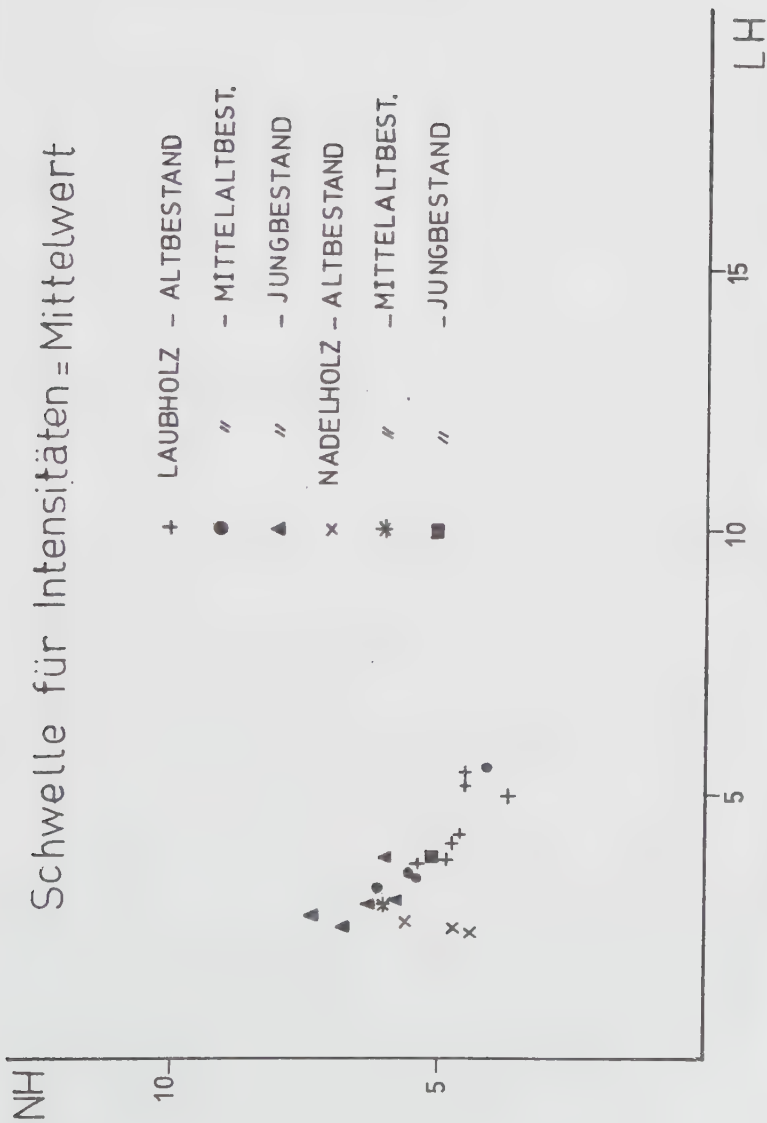


Abb. 18: Variation der Merkmalswerte in Abhängigkeit von Anzahl (NH) und Länge (LH) der hellen Stellen bei Schwelle gleich dem Intensitätsmittelwert; IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.

Tab. 13: Auswerteergebnisse von 2 Texturparametern- Anzahl (NH) und Länge der hellen Stellen (LH) - bei Schwelle gleich dem Intensitätsmittelwert (IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.)

Best.Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	NH	LH
1	Laubh.-Altbest.	4,50	5,24
5	"	5,37	3,67
6	"	4,72	4,09
8	"	4,50	5,38
12	"	4,91	3,85
13	"	4,56	4,18
14	"	3,72	4,99
3	Laubh.-Mittelaltb.	5,41	3,55
7	"	6,06	3,31
11	"	5,37	3,66
15	"	4,09	5,46
2	Laubh.-Jungbest.	7,37	2,71
9	"	6,34	2,89
10	"	5,78	3,05
17	"	6,03	3,79
18	"	6,81	2,46
19	Nadelh.-Altbest.	4,75	2,50
21	"	5,62	2,58
25	"	4,44	2,45
24	Nadelh.-Mittelaltb.	6,15	2,97
22	Nadelh.-Jungbest.	5,22	3,78

Abhängigkeit zeigt. Deutliche Schattenstrukturen in den älteren, vertikal stärker gegliederten Fichtenbeständen führen zu relativ geringen LH-Werten.

Der untersuchte Jungbestand mit seinen noch kleinkronigen Bäumen und einem nur wenig vertikal gegliederten Kronendach zeigt sich im Luftbild dagegen bezüglich der Helligkeit homogener. Dies hat - in Verbindung mit der Blendenöffnung von 30 μ - zur Folge, daß hier größere LH-Werte gemessen werden.

Der mittelsalte Nadelholzbestand sollte hier außer acht bleiben, da in ihm mehrere eingesprengte Laubbäume das Ergebnis beeinflußt haben könnten.

Der 3. Texturparameter (GS), der ebenso wie NH und LH zur Charakterisierung der Feinheit der Textur herangezogen werden kann, bringt im Vergleich zu den Parametern NH und LH bessere Ergebnisse.

Abb. 19 zeigt die Variation der Grauwertschwankung der einzelnen Waldbestände. Diese Abbildung macht deutlich, daß im Verhältnis zu NH und LH eine wesentlich bessere Unterscheidung sowohl zwischen den einzelnen Waldtypen als auch innerhalb der verschiedenen Altersklassen möglich ist. Die Tabelle 12 und die Abb. 19 zeigen, daß die Laubhölzer höhere GS-Werte als die Nadelhölzer und die Jungbestände wesentlich höhere GS-Werte als die Altbestände aufweisen. Je feiner die Textur ist, desto höher ist die Grauwertschwankung und umgekehrt.

Die Abbildungen von Waldbeständen zeigen in Fernerkundungsaufzeichnungen entsprechenden Maßstabs im allgemeinen "Grobturen". Dies gilt für Laub- wie für Nadelholzbestände. Die Parameter GS, NH und LH weisen daher zwischen gleichaltrigen Beständen verschiedenartiger Waldtypen oft nur gering ausgeprägte Unterschiede auf. Deutlicher sind die Unterschiede der Parameter GS, NH und LH dagegen bei ein und demselben Waldtyp in Abhängigkeit vom Alter, - entsprechend großer Altersunterschied vor-

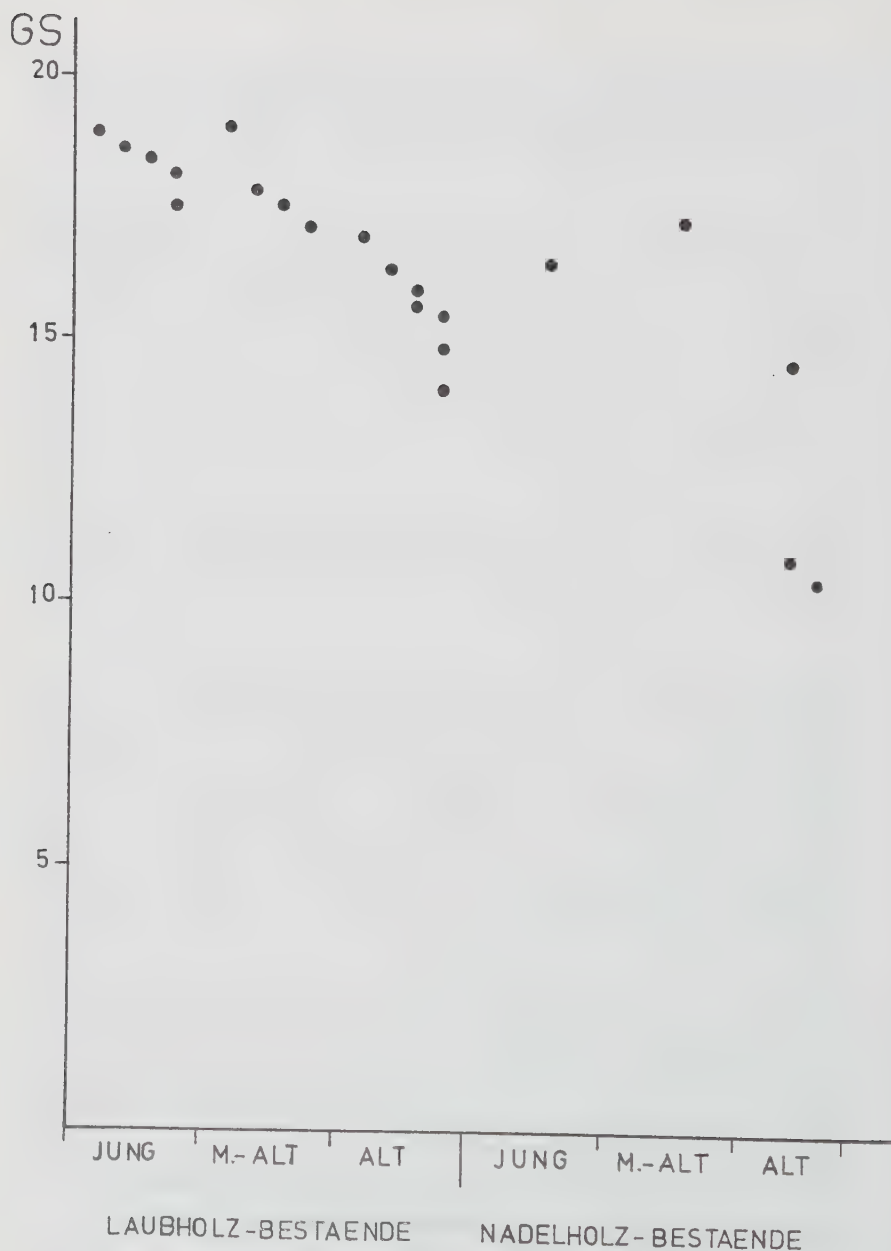


Abb.19: Variation der Grauwertschwankung der Testbestände in mittleren Bildortlagen; IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.

ausgesetzt - .

Es kann daraus folgende allgemeine Folgerung gezogen werden: Es erscheint sehr zweckmäßig, die drei Parameter GS, NH und LH zur Differenzierung von Objekten heranzuziehen, wenn diese unterschiedliche texturale Rauigkeit bzw. Feinheit aufweisen bzw. in der Abbildung erwarten lassen. Unter solchen Umständen werden die Ergebnisse einer Texturanalyse mit den genannten Parametern eindeutige und zumeist sicher auch signifikante bis hoch signifikante (z.B. Wiese-Wald, Altholz-Dickung) Trennungen ermöglichen.

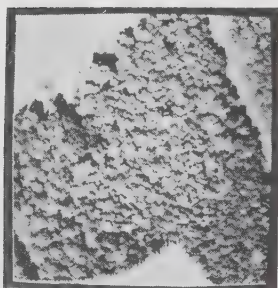
Der 7. Texturparameter (Häufigkeitsverteilung der Intensitätswerte = HI) sowie die Densitogramme (vgl. Abb. 20 und die Abb. 21) bestätigen in aller Deutlichkeit nochmals, daß erhebliche Texturunterschiede zwischen den Lbh und den Ndh bestehen. Die Laubhölzer haben im Gegensatz zu den Nadelhölzern viel mehr hellere Komponenten, während bei den Nadelhölzern die dunklen Komponenten überwiegen.

Während der Unterschied zwischen den beiden Waldtypen sowohl an Hand von Histogrammen (Abb. 20) als auch an Hand von Densitogrammen (Abb. 21) sehr groß ist, ist die Trennung zwischen den einzelnen Altersklassen auch hier ein wenig schwieriger. Die Trennung ist zwischen den alten und den jungen Beständen sehr eindeutig, aber die Unterscheidung zwischen den mittelalten und den alten und zwischen den mittelalten und den jungen Beständen ist nicht immer eindeutig möglich.

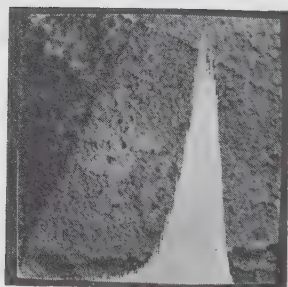
Zum Verständnis der Häufigkeitsverteilung der Intensitätswerte (siehe Abb. 20) wird im folgenden die Histogrammkurve an Hand von Abb. 22 beschrieben.

Die Ordinate h zeigt die Häufigkeit der Intensitäten. Die Abszisse I zeigt die Intensitätswerte, verteilt von 0 bis 255 Grauwerteinheiten, wobei 0 den dunkelsten und 255 den hellsten Wert darstellt.

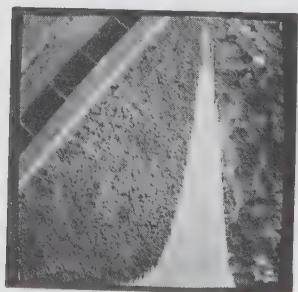
Laubholzbestände



alt

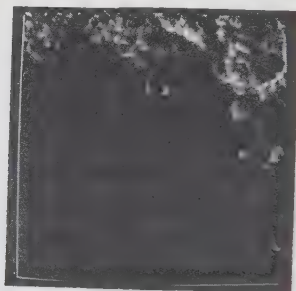


mittelalt



jung

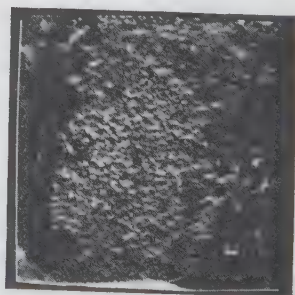
Nadelholzbestände



alt



mittelalt

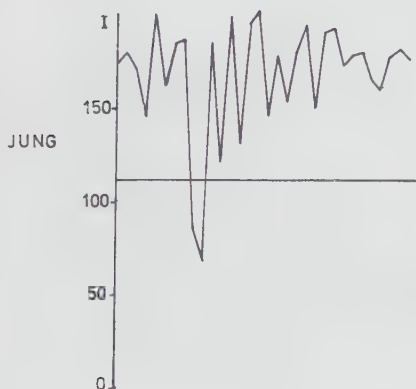
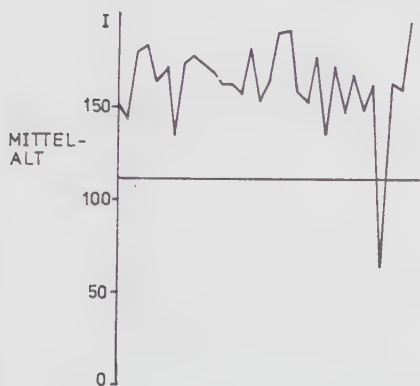
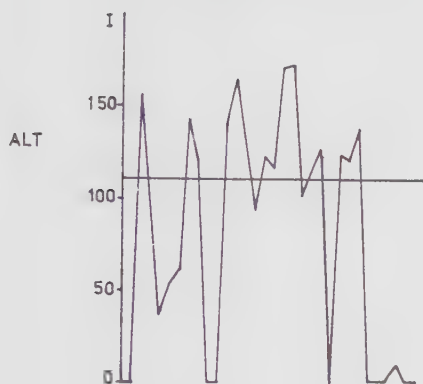


jung

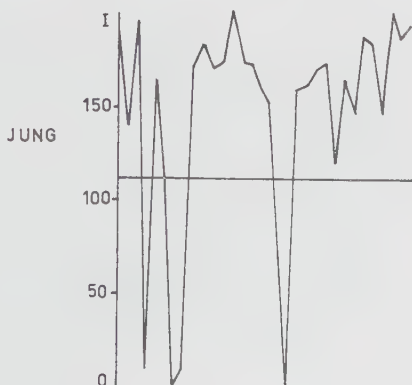
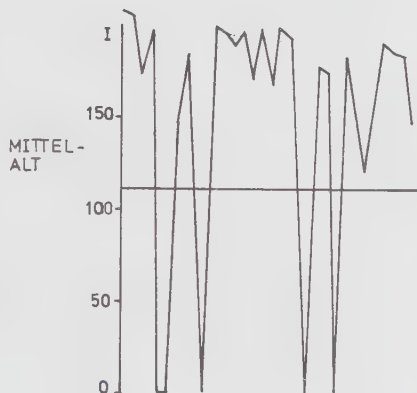
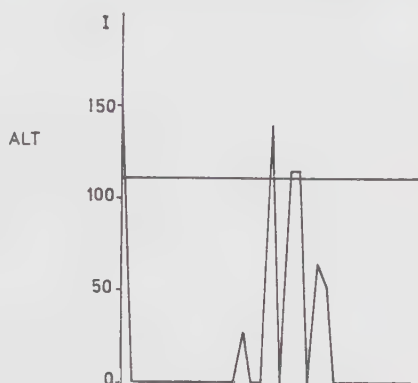
Abb. 20: Histogramme auf IRC-Aufnahmen aus Flughöhe
cs. 800 m ü.G.
Filter = neutral

Infrarot-Farbaufnahme Flughöhe ca. 800 m ü.G.
Filter = neutral

Laubholzbestände



Nadelholzbestände



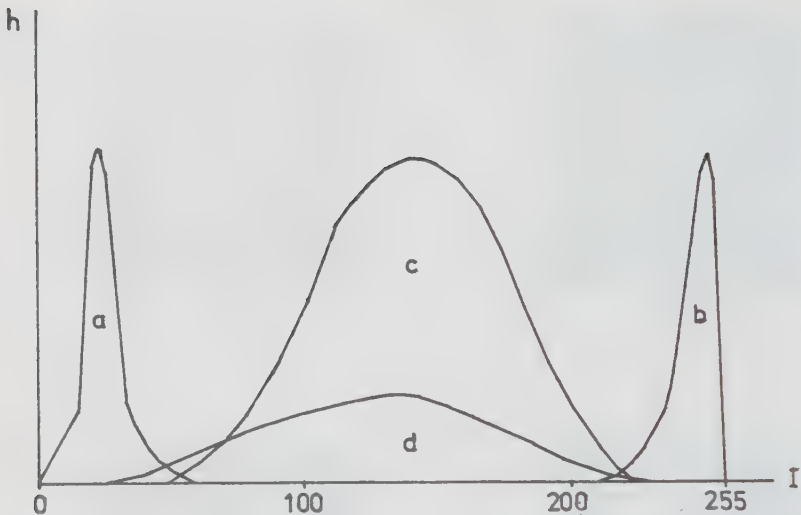


Abb. 22: zeigt, wie sich verschiedenartige Texturen in der graphischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Intensitäten unterscheiden.

Je gespreizter und breiter die Histogrammkurve ist, desto größer ist zunächst der Unterschied zwischen hellstem und dunkelstem Abbildungselement, aber i.d.R. auch die Variation des Wechsels zwischen den hellen und dunklen Bildelementen. Dies deutet zugleich darauf hin, daß das betreffende Objekt sehr texturreich ist.

In der Abb. 22 zeigen die Kurven c und d die texturreicheren Objekte, während die Kurven a und b texturärmere Objekte darstellen.

Bei den beiden Kurven c und d ist die Kurve c meist typisch für die homogenen Laubholzbestände, während die Kurve d typischer für Nadelholzbestände (Fi und Te) mit hellen Kronenspitzen und schattenreichen dunklen Partien ist.

Bei den beiden Kurven a und b ist die Kurve a typisch für dunklere texturärmere und die Kurve b für hellere texturärmere Objekte.

Die erheblichen Texturunterschiede im Luftbild, die sowohl zwischen den untersuchten Waldtypen als auch bei gleichartigen Beständen sehr unterschiedlichen Alters nachgewiesen werden konnten, sind auf eine Reihe von Unterschieden in Aufbau von Einzelkrone und Kronendach der untersuchten Bestände zurückzuführen.

Der Wald hat eine besonders unebene, rauhe Oberfläche. Bei stets schräg einfallender Sonneneinstrahlung ergeben sich dadurch stark richtungsabhängige Reflexionsverhältnisse und sehr deutliche, aber objektbedingt unterschiedliche Schattenmuster. Die Form der einzelnen Baumkronen, die Art der Belaubung, die Dichte der Bestockung und die Art der Vergesellschaftung des Waldbestandes (verschiedene Baumartenmischung, Altersunterschiede) und schließlich auch die artspezifischen Reflexionseigenschaften der Blattorgane selbst führen zu unterschiedlichen Aufbauformen der Kronendächer, unterschiedlichen Reflexionscharakteristiken und als Folge davon zu unterschiedlichen Texturen in der Luftbildaufnahme. Bezüglich der typischen Schattenmuster haben schon frühere Arbeiten einprägsame Modelle gezeigt (siehe Abb. 3 und 4).

Daß sehr unterschiedliche Texturen im Luftbild wegen objekt-typischer vertikaler Objektstruktur zu erwarten sind, kann auch aus den Ergebnissen einer jüngst abgeschlossenen Untersuchung von Djawadi (1977) abgeleitet werden. Dort zeigte sich für die Untersuchungsbestände, daß die "Rauhigkeit" der Bestandesoberfläche bei Altholzbeständen in folgender Reihenfolge zunimmt:

- geschlossener Laubholzbestand
- lockergeschlossener Laubholzbestand
- und geschlossener Fichten-Buchenmischbestand

- geschlossener Nadelholzbestand
- leicht geschlossener bis lückiger Mischbestand,

und daß bei reinen Nadelholzbeständen die Oberflächenrauigkeit mit dem Alter zunimmt. Cum grano salis kann daraus abgeleitet werden, daß in gleicher oder ähnlicher Reihenfolge auch die Textur solcher Bestände im Luftbild stärker ausgeprägt in Erscheinung tritt.

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigten dies. Besonders ausgeprägte Texturen zeigten die spitzkronigen Nadelholzbestände, wobei die älteren Bestände durch den mehr oder weniger regelmäßigen Wechsel tief dunkler Bildelemente der beschatteten Kronenteile und heller Elemente der besonnten Kronenteile und insbesondere der Baumspitzen sich als texturreicher als die jungen Bestände erweisen.

7.12 Analyse der Farbkomponenten zur Charakterisierung der Texturmerkmale an Hand von Infrarotfarbaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. mit Farbfiltern (rot, grün und blau).

An Hand der folgenden Beispiele wird die Auswirkung der Farbkomponenten auf die Texturinformation beschrieben.

Eine positive und bedeutungsvolle Wirkung der Farbkomponenten auf die Texturinformation liegt darin, daß man bei Auswertung der IRC-Luftbilder durch die Anwendung bestimmter Farbfilter die Altersklassenunterschiede innerhalb eines bestimmten Waldtyps eindeutig identifizieren kann. Die Abbildung 23 möge dies belegen.

Es wird daran erinnert, daß die Trennung zwischen den einzelnen Altersklassen bei Verwendung des neutralen Filters nicht immer möglich war (vgl. Kap. 7.11). Die Tatsache, daß durch

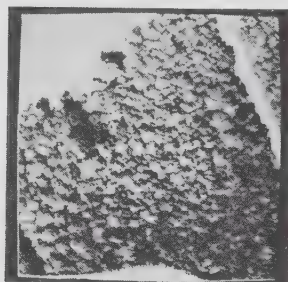
die Anwendung bestimmter Farbfilter eine eindeutige Trennung innerhalb der einzelnen Altersklassen möglich wird, kann man dadurch erklären, daß die Anreicherung der bestimmten Farbpigmente in den Blättern und Nadeln der Bäume je nach Altersklasse unterschiedlich hoch ist.

Vergleicht man die Ergebnisse der Messungen mit verschiedenen Farbfiltern miteinander, kommt man zu der Feststellung, daß die Intensitätswerte bei der Farbfilterung für Laubholzbestände in den überwiegenden Fällen nach der Reihenfolge: rot, blau und grün abnehmen. Bei den Nadelholzbeständen zeigt sich eine Abnahme in der überwiegenden Zahl der Fälle in der Reihenfolge: blau, rot und grün (vgl. hierzu die Tabellen 14, 15 und 16).

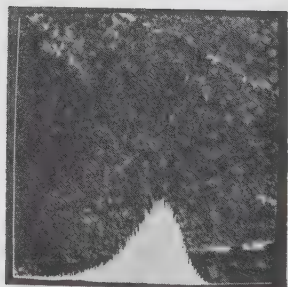
Dies bedeutet, daß der grüne Farbanteil sowohl bei den Laubhölzern als auch bei den Nadelhölzern am geringsten ist, während der rote Farbanteil bei den Laubhölzern und der blaue Farbanteil bei den Nadelhölzern die überwiegenden Farbanteile ausmachen.

Die Einflüsse der jeweiligen Farbfilterung auf die Trennbarkeit der Waldtypen und Altersklassen ist aus den exemplarischen Histogrammen (Abbildungen 20, 23, 24 und 25) und Densitogrammen (Abbildungen 21, 26, 27 und 28), den Tabellen 12, 14, 15 und 16 sowie der zusammenfassenden Wertungstabelle 17 zu ersehen. Sie werden im folgenden diskutiert. Dabei wird von den bereits beschriebenen Ergebnissen der Messung mit neutralem Filter ausgegangen (vgl. Kap. 7.11) und vor allem gefragt, ob und in welchen Fällen eine Farbfilterung eine Verbesserung der Unterscheidbarkeit bewirkt. Die Fülle der zu vergleichenden Ergebnisse legte es nahe, diesen wertenden Vergleich in einer Übersicht zusammenzufassen. Als eine solche Übersicht ist die Tabelle 17 anzusehen. Hier wurden für einige der Texturparameter und für die verschiedenartige Filterung bewertet, ob die Parameter für die beiden Waldtypen (jeweils

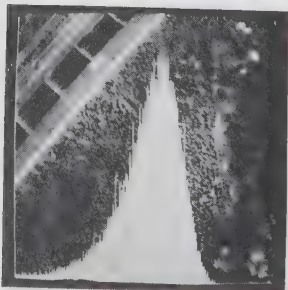
Laubholzbestände



alt

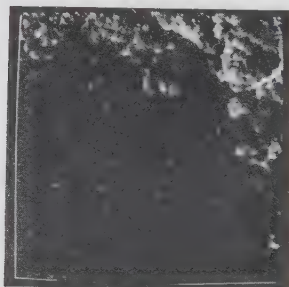


mittelsalt

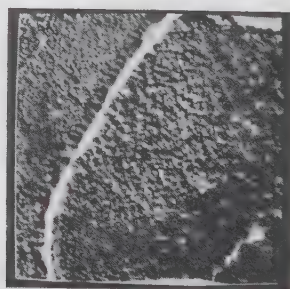


jung

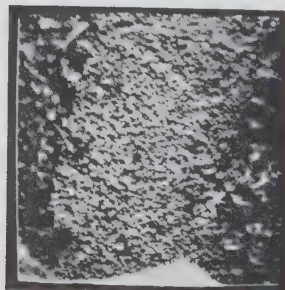
Nadelholzbestände



alt



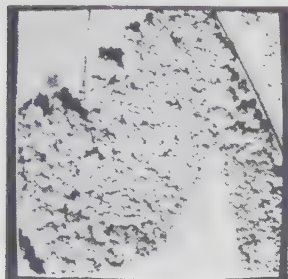
mittelsalt



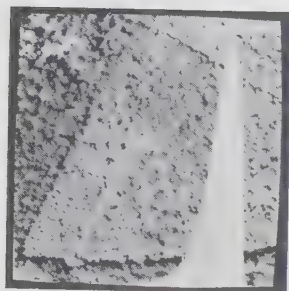
jung

Abb. 23: Histogramme auf IRC-Aufnahmen aus Flughöhe
ca. 800 m ü.G.
Filter = grün

Laubholzbestände



alt

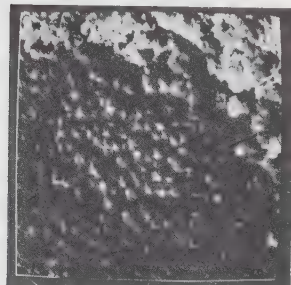


mittelalt



jung

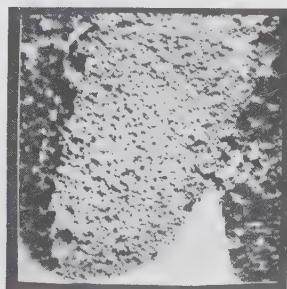
Nadelholzbestände



alt



mittelalt



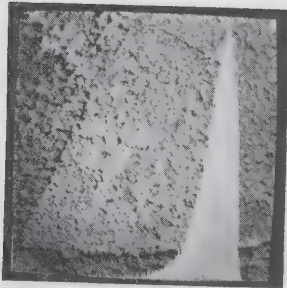
jung

Abb. 24: Histogramme auf IRC-Aufnahmen aus Flughöhe
ca. 800 m ü.G.
Filter = rot

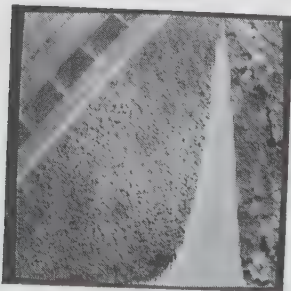
Laubholzbestände



alt

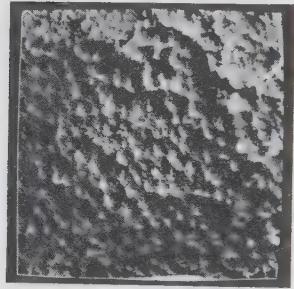


mittelalt



jung

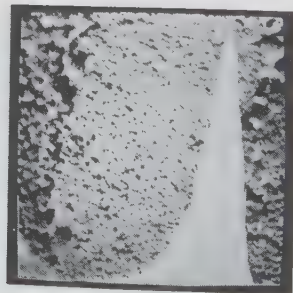
Nadelholzbestände



alt



mittelalt



jung

Abb. 25: Histogramme auf IRC-Aufnahmen aus Flughöhe
ca. 800 m ü.G.
Filter = blau

Tab. 14: Auswerteergebnisse der untersuchten Waldbestände für Laub- und Nadelholzbestände getrennt nach Altersklassen. (IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.), Filter = grün.

Best. Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	43,26	40,89	13,81	2,00	1,23	94,53
5	"	37,15	49,13	12,59	3,09	1,26	132,22
6	"	83,72	52,48	15,87	5,03	2,73	62,68
8	"	52,00	56,77	13,19	3,56	2,24	109,19
12	"	63,79	57,08	13,94	4,37	2,17	89,49
13	"	101,79	74,77	13,34	5,22	3,45	73,46
14	"	102,99	63,08	13,78	4,28	4,64	61,25
3	Laubh.-Mittelaltb.	72,04	48,98	17,78	5,31	1,73	67,98
7	"	54,37	51,92	17,50	4,22	1,46	95,49
11	"	89,33	53,58	16,78	6,81	2,19	59,98
15	"	147,59	41,27	15,09	2,91	12,37	27,97
2	Laubh.-Jungbest.	107,79	50,65	20,00	8,09	2,52	46,98
9	"	121,20	39,51	18,12	6,03	4,39	32,60
10	"	126,45	38,49	18,31	5,56	4,90	30,44
17	"	92,14	53,68	18,06	7,66	2,03	58,25
18	"	116,31	38,12	19,31	7,56	2,90	32,77
19	Nadelh.-Altbest.	36,76	53,29	8,66	2,91	1,85	144,95
21	"	38,04	54,71	11,92	3,83	1,22	143,81
25	"	6,49	20,13	4,06	0,41	0,37	310,32
24	Nadelh.-Mittelaltb.	86,91	69,12	16,78	7,09	2,20	79,53
22	Nadelh.-Jungbest.	118,13	54,38	16,16	5,97	4,01	46,04

Tab. 15: Auswerteergebnisse der untersuchten Waldbestände für
Laub- und Nadelholztypen getrennt nach Alterklassen.
(IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.), Filter = rot

Best. Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	$\bar{x}$	S	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	178,65	28,72	16,65	2,25	18,02	16,08
5	"	122,59	63,98	15,50	5,37	4,45	52,19
6	"	147,86	45,73	16,00	3,91	8,56	30,93
8	"	158,56	30,66	18,25	2,69	13,10	19,34
12	"	127,99	57,15	16,69	4,87	5,32	44,65
13	"	135,66	66,25	15,53	4,81	5,97	48,84
14	"	132,20	68,04	14,00	4,09	6,47	51,47
3	Laubh.-Mittelaltb.	159,98	29,41	17,81	2,41	16,10	18,38
7	"	158,56	30,66	18,25	2,69	13,09	19,34
11	"	160,49	38,25	17,28	3,12	12,53	23,83
15	"	178,82	34,74	15,50	2,09	18,00	19,43
2	Laubh.-Jungbest.	191,57	26,27	18,81	1,56	23,10	13,74
9	"	174,83	19,77	18,16	1,47	24,59	11,31
10	"	192,17	17,36	16,53	1,06	30,97	9,03
17	"	179,63	37,05	17,56	2,47	15,28	20,63
18	"	200,26	14,13	18,16	1,03	31,48	7,05
19	Nadelh.-Altbest.	52,33	61,73	9,94	3,91	2,17	117,96
21	"	78,60	71,95	14,50	5,78	2,38	91,53
25	"	31,68	50,53	10,06	2,91	1,45	159,48
24	Nadelh.-Mittelaltb.	100,25	70,48	17,25	7,34	2,50	70,30
22	Nadelh.-Jungbest.	155,36	46,33	16,59	3,72	9,15	29,82

Tab. 16: Auswerteergebnisse der untersuchten Waldbestände für
Laub- und Nadelholzbestände getrennt nach Altersklassen
(IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca. 800 m ü.G.), Filter = blau.

Best. Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	155,40	29,51	15,91	2,81	14,09	18,99
5	"	129,54	63,50	15,87	5,19	4,86	49,02
6	"	156,39	35,73	16,59	2,97	12,63	22,85
8	"	132,49	58,02	16,50	4,59	5,86	43,80
12	"	126,45	54,92	16,84	4,44	5,68	43,43
13	"	158,76	60,71	14,81	3,91	7,91	38,24
14	"	148,56	59,69	14,78	3,75	8,52	40,18
3	Laubh.-Mittelaltb.	157,39	27,85	17,47	2,47	14,45	17,70
7	"	151,46	34,67	19,28	3,47	10,72	22,89
11	"	160,09	35,37	17,62	2,91	14,06	22,10
15	"	184,55	29,33	15,94	1,62	22,68	15,89
2	Laubh.-Jungbest.	171,81	31,27	19,53	2,03	19,40	18,20
9	"	171,26	21,30	18,22	1,53	23,86	12,44
10	"	182,20	19,94	17,19	1,25	27,86	10,94
17	"	168,22	31,63	18,31	2,69	14,32	18,80
18	"	182,05	18,84	18,94	1,16	29,76	10,35
19	Nadelh.-Altbest.	97,92	73,32	13,28	5,66	3,49	74,87
21	"	114,71	71,97	16,47	6,28	3,36	62,74
25	"	69,82	67,25	14,16	5,81	2,19	96,31
24	Nadelh.-Mittelaltb.	149,36	61,59	17,94	5,09	6,23	41,24
22	Nadelh.-Jungbest.	181,31	31,42	17,00	1,75	21,60	17,33

Tab. 17: Die Wertungstabelle aller Untersuchungsbestände getrennt nach Filterung für einige texturbeschreibende Parameter an Hand der IRC-Luftbilder (Flughöhe ca. 800 m ü.G.)

Neutralfilter					
Differenzierung zwischen:	$\bar{X}$	PV	GS	Densitogramm	Histogramm
Lbh - Ndh	+	++	+	++	++
Lbhj- m	-	+	-	-	-
Lbhm- s	+	++	+	++	++
Ndhj- m	+	++	-	-	-
Ndhm- s	+	++	+	++	+
Rotfilter					
Differenzierung zwischen	$\bar{X}$	PV	GS	Densitogramm	Histogramm
Lbh - Ndh	++	++	-	+	++
Lbhj- m	+	+	-	++	-
Lbhm- s	-	+	-	+	++
Ndhj- m	++	++	-	+	++
Ndhm- s	++	++	+	+	+
Grünfilter					
Differenzierung zwischen	$\bar{X}$	PV	GS	Densitogramm	Histogramm
Lbh - Ndh	++	+	+	-	++
Lbhj- m	+	+	+	+	++
Lbhm- s	-	+	+	++	++
Ndhj- m	++	++	-	-	++
Ndhm- s	++	++	+	++	+
Blaufilter					
Differenzierung zwischen	$\bar{X}$	PV	GS	Densitogramm	Histogramm
Lbh - Ndh	+	++	-	-	+
Lbhj- m	+	+	-	++	-
Lbhm- s	-	+	+	+	+
Ndhj- m	++	++	-	++	++
Ndhm- s	++	++	+	++	++

Infrarot-Farbaufnahme Flughöhe ca. 800 m ü.G. Filter=grün

Laubholzbestände

Nadelholzbestände

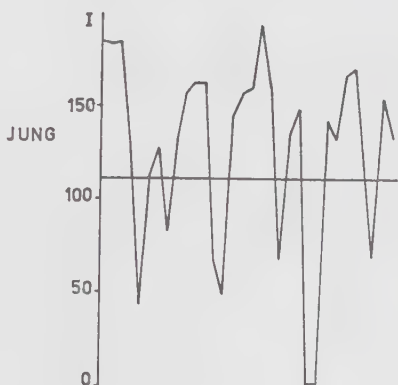
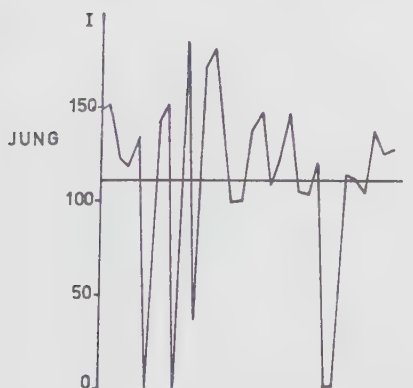
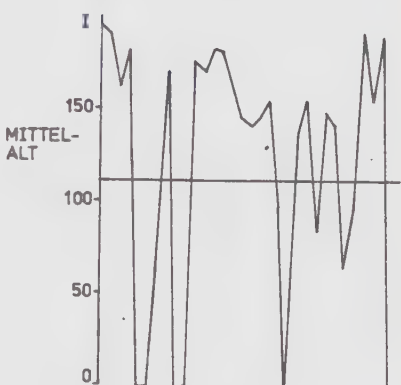
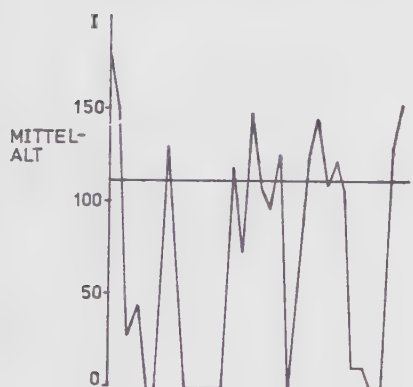
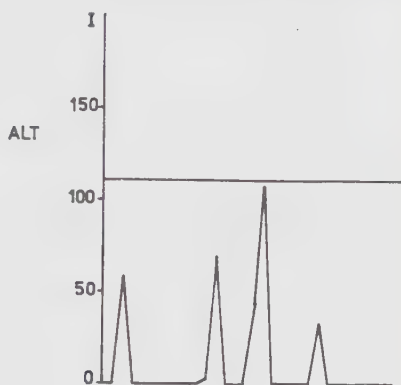
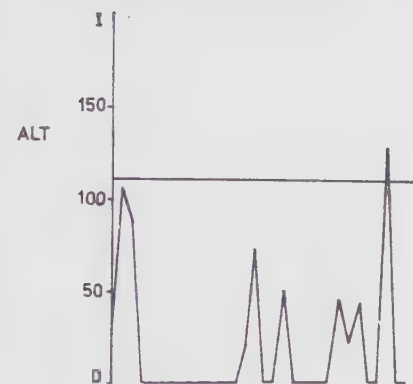
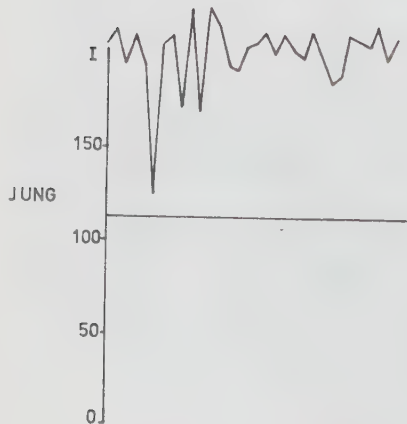
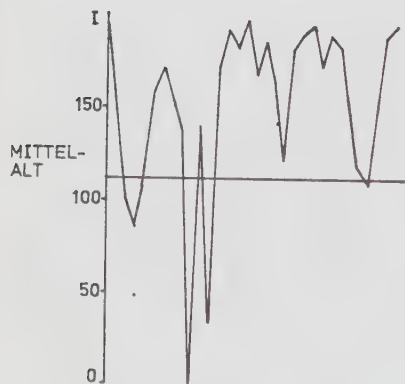
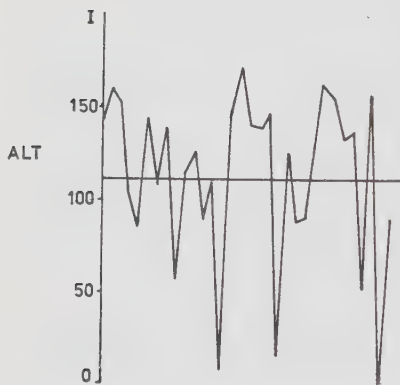


Abb.26: DENSITOGRAFIE AUSGEWÄHLTER BESTÄNDE

Infrarot-Farbaufnahme Flughöhe ca. 800 m ü.G.
Filter=rot

Laubholzbestände



Nadelholzbestände

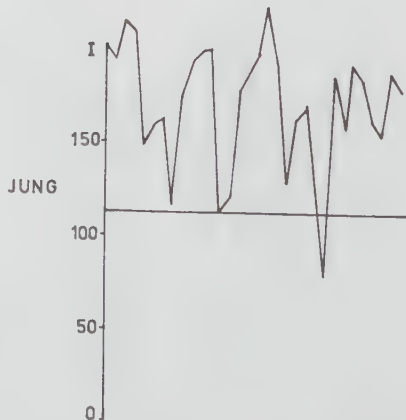
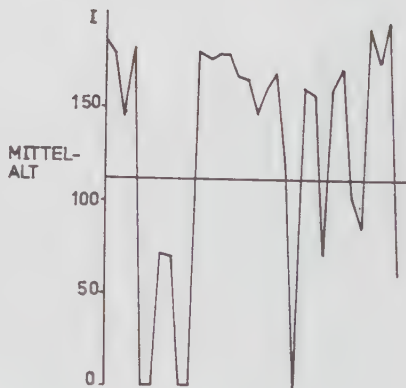
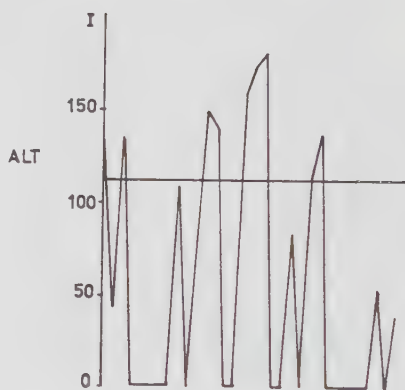
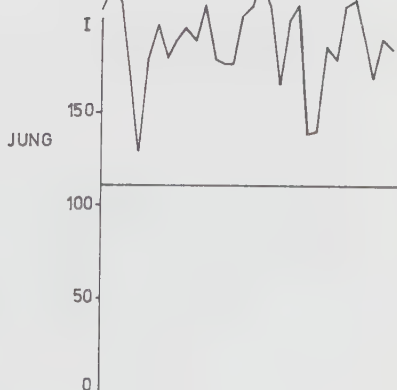
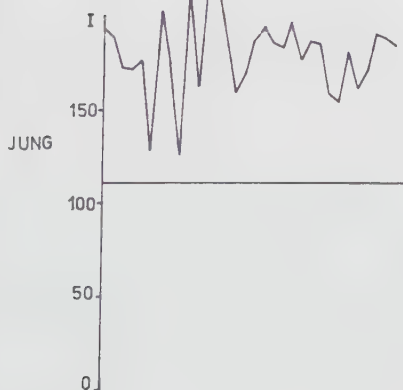
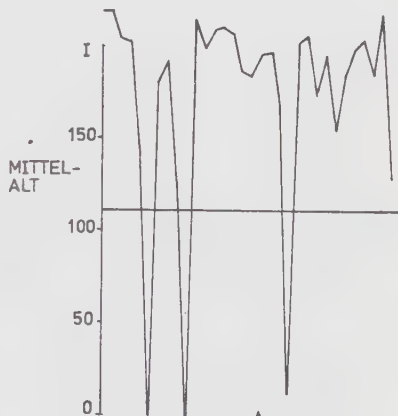
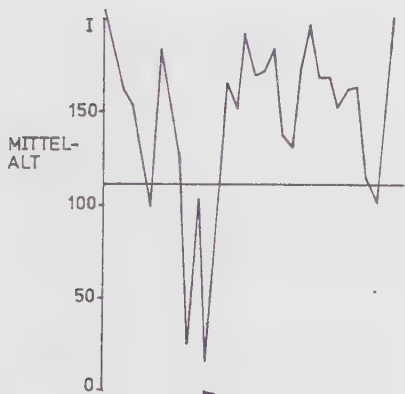
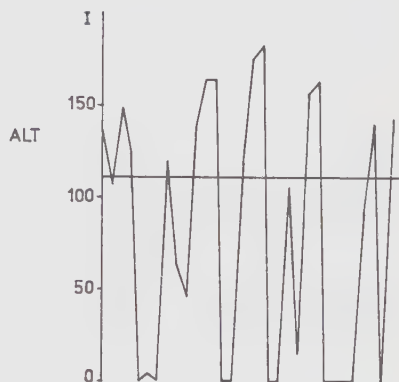
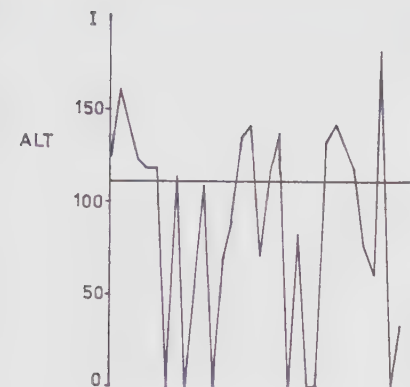


Abb. 27: DENSITOGAMME AUSGEWÄHLTER BESTÄNDE

Infrarot - Farbaufnahme Flughöhe ca. 800 m ü.G.
Filter = blau

Laubholzbestände

Nadelholzbestände



bei gleichem Alter) und die drei Altersstufen (bei gleichem Waldtyp) Unterschiede aufweisen, die eine gute (++), bedingte (+) Trennbarkeit in den Infrarotfarbluftbildern erwarten lassen oder ob eine solche nicht (-) möglich ist. Das Ergebnis des Vergleichs gilt natürlich zunächst wiederum nur für die untersuchten Waldobjekte und das gegebene Bildmaterial.

Sie lassen aber wie schon die eingehender diskutierte Ergebnisse der neutralen Filterung grundsätzliche Tendenzen erkennen. Die beiden Waldtypen können bei allen Filterungen unterschieden werden. Die jeweils beste Trennmöglichkeit ist jedoch offensichtlich bei den einzelnen Filterungen mit verschiedenen Parametern gegeben.

In allen Fällen ist jedoch eine Trennmöglichkeit aufgrund der Histogramme, der Intensitätsmittelwerte und der Variationskoeffizienten (PV) nachgewiesen.

Die Unterscheidung der Altersstufen innerhalb eines bestimmten Waldtyps waren bei der neutralen Filterung nicht eindeutig möglich. Zwar ließen sich mittelalte von alten Beständen gut bzw. bedingt unterscheiden. Es war aber beim Laubholz nicht und beim Nadelholz nur durch den Variationskoeffizienten möglich, junge von mittelalten Beständen zu trennen. Bei allen Farbfilterungen traten hier Verbesserungen ein. Bei den Nadelholzbeständen ergaben sich positive Ergebnisse bei allen drei Farbfilterungen, wobei die Blaufilterung zum günstigsten Ergebnis führte. Bei den Laubholzbeständen brachte die Grünfilterung das beste Ergebnis. Insbesondere zeigen hier die Histogramme, daß die Intensitätswerte sich in ihrer Verteilung sehr deutlich für alle sechs Kategorien (2 Waldtypen und jeweils 3 Altersstufen) unterscheiden.

Die Frage, warum gerade die Grünfilterung die etwas besseren und besonders für die Unterscheidung junger und mittelalter Laubholzbestände die besten Ergebnisse brachte, läßt sich ohne weitergehende Analyse des Reflexionsverhaltens der untersuchten Objekte nicht beantworten. Es ist freilich sicher anzunehmen, daß sowohl das

unterschiedliche spektrale Reflexionsverhalten junger und alter Blattorgane als auch das von den unterschiedlichen Schattenmustern bestimmte spektrale Reflexionsvermögen der Kronen und Kronendächer dabei eine Rolle spielen.

7.13 Analyse der Textur an Hand von multispektralen Scanneraufzeichnungen aus der Flughöhe ca. 1000 m ü.G. in verschiedenen Kanälen.

Die nächsten Beispiele beschäftigen sich mit der Analyse der multispektralen Scanneraufzeichnungen.

Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Texturanalyse zweier Untersuchungsbestände an Hand eines CCT (Flughöhe ca. 1000 m ü.G.) in den Kanälen 2, 4, 7 und 9.

Vergleicht man die beiden Testbestände, die unterschiedliche Altersklassen (alt, jung) aufweisen, in den einzelnen Kanälen miteinander, so stellt man fest, daß die Intensitätsmittelwerte bei dem jungen Bestand in allen vier Kanälen größer sind als bei dem Altbestand. Das gleiche Resultat ist bei der Texturanalyse an Hand von Luftbildern erzielt worden.

Die Intensitätsmittelwerte sind im Kanal 9 - bei den Laubholzbeständen erwartungsgemäß - deutlich am größten. Danach folgen die Kanäle 4 und mit Abstand 2 und 7.

In dieser Reihenfolge spiegelt sich der bekannte Verlauf der spektralen Reflexionskurven von belebter, grüner Vegetation wieder.

Die Standardabweichungen und Pearson'schen Variationskoeffizienten sind - ebenfalls wie bei den Luftbildern - im Altbestand größer als im Jungbestand. Diese beiden Texturparameter zeigen eine deutliche Zunahme im Kanal 9, danach folgen die Kanäle 4, 7 und 2.

Tab. 18: Auswerteergebnisse zweier Laubholzbestände in zwei Altersklassen (alt und jung), CCT-Band, Flughöhe ca. 1000 m ü.G., Kanäle Nr. 2, 4, 7 und 9.

Best. Nr.	Kan. Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	$\bar{x}$	S	GS	NH	LH	PV
1	2	Laubh.-Altbest.	55,64	1,88	1,81	3,75	3,24	3,39
2	2	Laubh.-Jungbest.	56,97	1,38	0,50	1,37	12,62	2,42
1	4	Laubh.-Altbest.	63,40	3,10	3,87	2,12	1,93	4,88
2	4	Laubh.-Jungbest.	69,09	2,90	5,19	2,37	7,47	4,20
1	7	Laubh.-Altbest.	45,30	2,17	2,25	3,56	2,12	4,79
2	7	Laubh.-Jungbest.	47,78	1,50	1,12	1,87	9,85	3,13
1	9	Laubh.-Altbest.	93,63	12,32	5,94	1,44	2,41	13,15
2	9	Laubh.-Jungbest.	118,96	7,38	7,87	1,75	10,24	6,20

+ Die Bestände Nr. 1 und 2 sind identisch mit dem Bestand Nr. 1 und 2 der Tabelle 22 (vgl. hierzu auch die Tabellen 2 und 3).

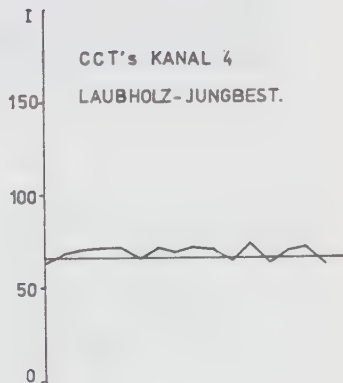
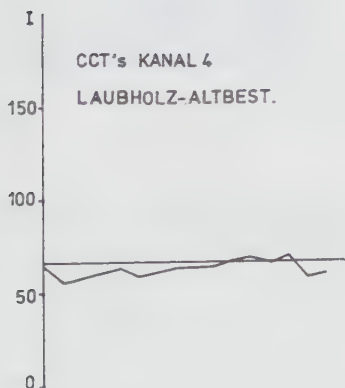
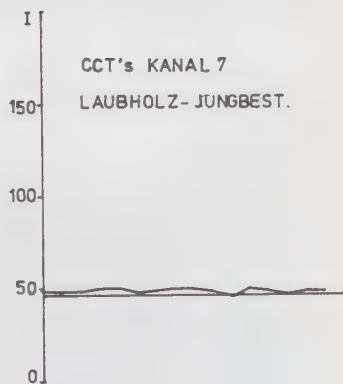
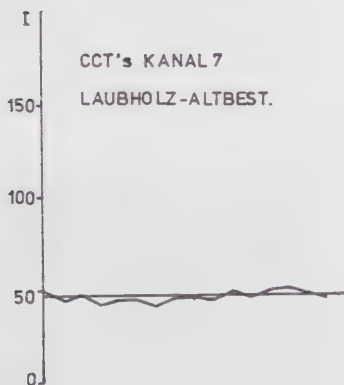
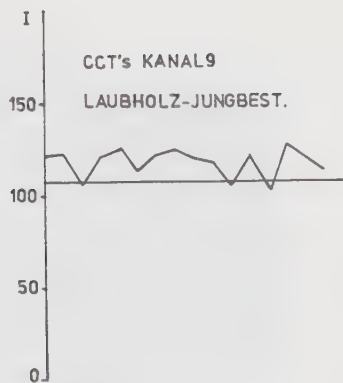
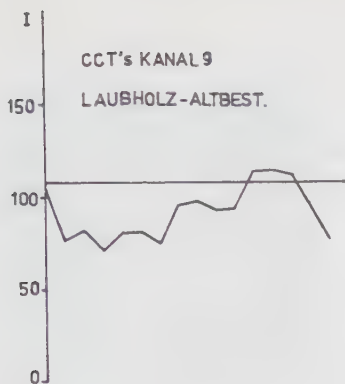


Abb.29: DENSITOGRAFIE AUSGEWÄHLTER LAUBHOLZBESTÄNDE AUF SCANNER-
AUFZEICHNUNGEN, FLUGHÖHE ca. 1000 m ü.G.

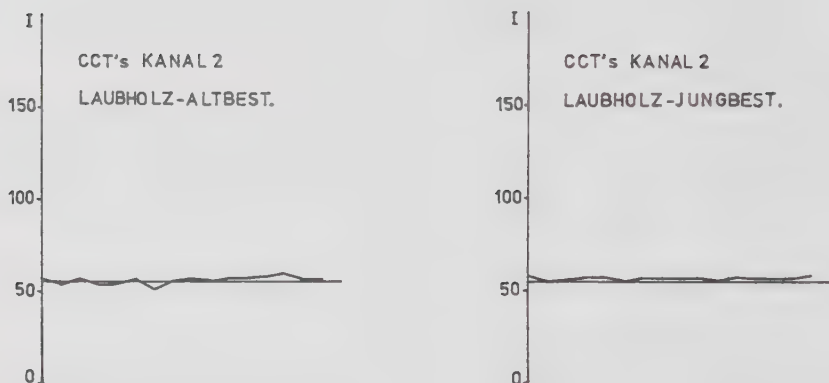
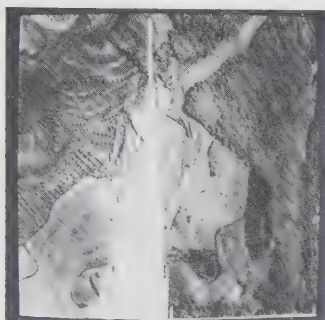


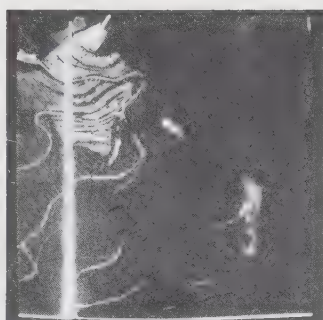
Abb.30: DENSITOGRAFIE AUSGEWÄHLTER LAUBHOLZBESTÄNDE AUF SCANNER-AUFZEICHNUNGEN, FLUGHÖHE ca. 1000 m ü.G.

Die stärkere Differenzierung der Intensitätswerte und damit heller und dunkler Stellen als Folge der ausgeprägteren Schattenstrukturen im Altbestand kommt darin zum Ausdruck. Bemerkenswert ist der Nachweis der besonders starken Intensitätswechsel im infraroten Kanal 9. Hier bestätigt sich die schon aus der Praxis der Luftbildinterpretation bekannte Erscheinung besonders tiefschwarzer Schatten bei Infrarotluftbildern, die mit dunkelrotem Filter aufgenommen wurden.

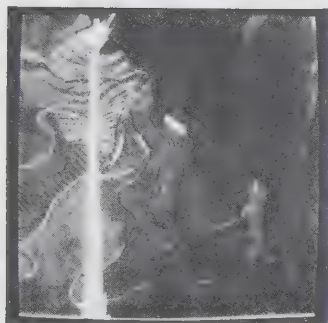
Die Grauwertschwankung GS ist in den Kanälen 9 und 4 bei dem Jungbestand und in den Kanälen 7 und 2 bei dem Altbestand größer. Die Aussage von Kanal 9 und 4 deckt sich mit den Resultaten auf den Luftbildern. Die GS-Werte sind auch hier im Kanal 9 am größten, danach folgen die Kanäle 4, 7 und 2.



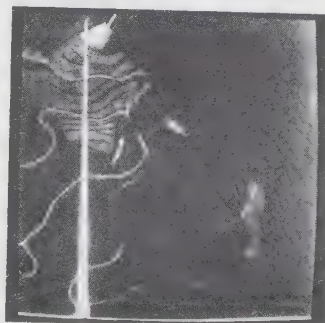
CCT's, Kanal 9



CCT's, Kanal 7



CCT's, Kanal 4



CCT's, Kanal 2

Abb. 31: Histogramme eines Laubholzaltbestandes
auf Scanneraufzeichnungen aus Flughöhe
ca. 1000 m ü.G., in verschiedenen Kanälen

Die Anzahl und Länge der hellen Stellen verhalten sich in allen Kanälen wie bei den Luftbildern, d.h. daß die Länge der hellen Stellen beim Jungbestand größer ist als beim Altbestand, - vorausgesetzt, daß die Schwelle einheitlich gewählt wird, - während die Anzahl der hellen Stellen in vielen Fällen auch hier umgekehrt beim Altbestand größer ist als beim Jungbestand.

Vergleicht man die einzelnen Kanäle miteinander, so wird ersichtlich, daß unter den vier Kanälen Kanal 9 die beste Texturinformation liefert (siehe hierzu die Abb. 29 und 30). Auch die Altersunterschiede an Hand von einzelnen Texturparametern sind zwischen Jung- und Altbestand in diesem Kanal am deutlichsten. Gewisse und verwertbare Texturunterschiede zwischen Alt- und Jungbestand kann man auch im Kanal 4 feststellen, während in den Kanälen 7 und 2 die Texturinformation sehr schwach ausgeprägt ist. Sie wird besonders im Kanal 2 so schwach, daß Texturunterschiede zwischen den beiden Altersklassen nicht mehr zu erkennen sind.

Tab. 19: Auswertedaten aus den Multispektral-Scanneraufzeichnungen im Kanal 9, Flughöhe ca. 2200 m ü.G. für Laub- und Nadelholzbestände unterschiedlicher Altersklasse (alt, mittlalt, jung)

Laubholzbestände

Nadelholzbestände

Parameter	alt	mittlalt	jung	alt	mittlalt	jung
X	93,44	87,44	111,30	70,01	73,12	88,39
S	5,51	3,54	2,89	8,51	3,37	3,63
GS	2,62	1,87	1,25	3,25	2,00	1,87
NH	2,25	1,62	1,00	1,75	1,62	1,00
LH	3,19	1,44	8,00	2,37	3,75	8,00
PV	5,89	4,05	2,60	12,16	4,61	4,11

Diese Analyse konnte nur für Laubholzbestände durchgeführt werden, da die Aufnahme aus 1000 m Flughöhe keine Nadelholzbestände erfaßte. Die in Tab. 19 wiedergegebenen Texturparameter für Nadelholzbestände auf Scanneraufnahme aus 2200 m Höhe (Kanal 9) zeigen jedoch - bei allen graduellen Unterschieden - eine auffallende Gleichsinnigkeit (siehe Tab. 20) sowohl mit den o.a. Ergebnissen als auch mit den gleichzeitig aus 2200 m aufgenommenen und analysierten Laubholzbeständen (Tab. 19 linke Seite).

Tab. 20

	Lbh		Ndh
	1000 m	2200 m	2200 m
$\bar{x}$	alt < jung	alt < jung	alt < jung
S	alt > jung	alt > jung	alt > jung
GS	alt > jung	alt > jung	alt > jung
PV	alt > jung	alt > jung	alt > jung

Tab. 19 läßt bei aller Gleichsinnigkeit der Texturinformationen zwischen Laubholz- und Nadelholzbeständen jedoch auch deutlich erkennen, daß sich diese beiden Bestandestypen - zumindest im Kanal 9 und bei Aufnahmehöhen von 2200 m und niedriger - an Hand der angeführten Texturparameter unterscheiden lassen. Die Nadelholzbestände zeigen im Vergleich zu den Laubholzbeständen niedrigere Intensitätsmittelwerte, aber höhere Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Intensitäten sowie höhere Grauwertschwankungen.

Abb. 29 und 30 (Densitogramme zweier Laubholzbestände auf den CCT'-s Flughöhe ca. 1000 m ü.G.) und Abb. 31 (die Histogramme eines Laubholzbestandes aus den CCT'-s, Flughöhe ca. 1000 m ü.G.)

bestätigen diese Aussage.

Da beim Vergleich der vier genannten Kanäle festgestellt wurde, daß im Kanal 9 die besten Texturinformationen vorhanden sind, wird im folgenden nur in diesem Kanal ein Vergleich zwischen den Texturinformationen aus dem Luftbild und aus den CCT's an- gestellt.

In Abb. 32 sind in der oberen Bildreihe die Histogramme der In- tensitätswerte gegenübergestellt, die sich bei Auswertung des gleichen Bestandes, aufgenommen aus nahezu der gleichen Flughöhe, aus einem IRC-Luftbild (links) und aus dem CCT- Kanal 9 einer Scanneraufzeichnung (rechts) ergaben.

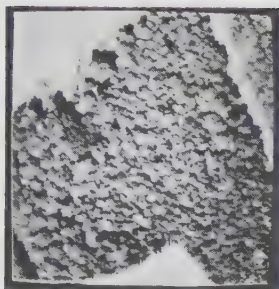
In der gleichen Weise stehen in der oberen Reihe der Abb. 33 vom selben Aufnahmematerial gewonnene Densitogramme zweier Laubholz- Altbestände gegenüber. Schließlich werden in Tab. 21 die weiteren Texturparameter, so wie sie aus wiederum dem gleichen Aufnahme- material hervorgingen, für den Laubholzalzbestand Nr. 1 vergli- chen.

Tab. 21: Auswerteergebnisse eines Laubholzalzbestandes (Bestand Nr. 1), der auf der IRC-Hasselbladaufnahme und auf der CCT-Aufnahme (Flughöhe in den beiden Fällen ca. 1000 m ü.G.) gemessen wurde.

Best. Nr.	Ausgangs- material	$\bar{x}$	S	GS	NH	LH	PV
1	CCT, Kanal 9	93,63	12,32	5,94	1,44	2,41	13,15
1	IRC-Luftbilder neutraler Filter	141,73	32,97	16,93	3,75	11,42	23,26

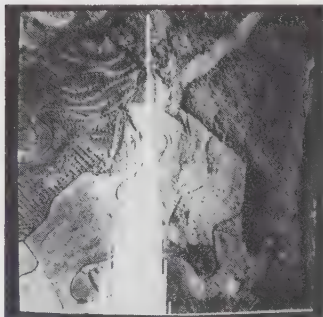
Der Vergleich der Histogramme, der Densitogramme und der weiteren Texturparameter (Tab. 21) läßt folgende Aussagen zu:

Luftbilder,
Filter = neutral

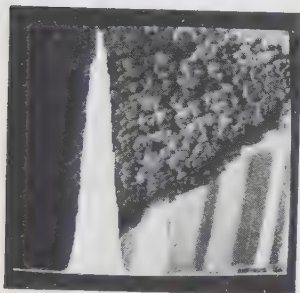


Flughöhe ca. 800 m ü.G.
IRC-Aufnahme

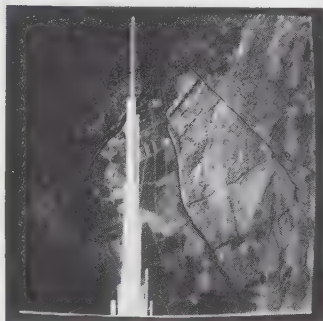
CCT's, Kanal 9



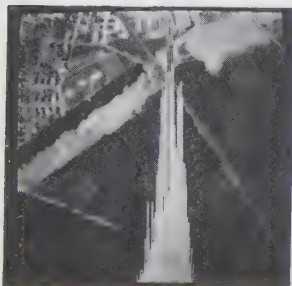
Flughöhe ca. 1000 m
ü.G.



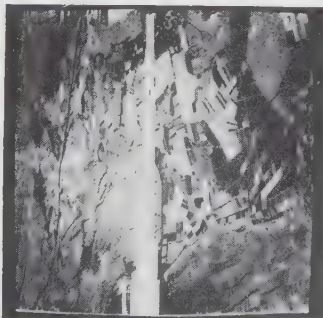
Flughöhe ca. 2200 m
ü.G.
Pan.-Aufnahme



Flughöhe ca. 2200 m
ü.G.



Flughöhe ca. 4000 m
ü.G.
IRC-Aufnahme



Flughöhe ca. 4000 m
ü.G.

Abb. 32: Histogramme eines Laubholzaltbestandes auf
Luftbildern bzw. CCT-Bändern unterschiedlicher
Flughöhe

- Texturinformationen sind bei der gegebenen Flughöhe um 1000 m ü.G. für die untersuchten Laubholz-Altbestände in beiden Informationsträgern in ausreichendem Maße enthalten.
- Offensichtlich ist dabei jedoch die Luftbildaufnahme deutlich texturreicher.
- Nimmt man die in dieser Arbeit an früheren Stellen diskutierten Ergebnisse bezüglich der Texturen von Nadelholzbeständen hinzu, so läßt sich die Schlußfolgerung vertreten, daß die o.a. Ergebnisse für die Laubholzbestände auf Nadelholzbestände und andere Waldbestände jeder Altersstufe (mit Ausnahme von Kulturen) übertragbar sind.
- Unbeschadet der o.a. Feststellung, daß die Luftbildaufnahme deutlich texturreicher ist, kann ferner gesagt werden, daß bei dieser (geringen) Flughöhe sowohl bei Auswertung von CCT's auf Kanal 9 (und wohl auch zumeist 4) als auch von Luftbildern anhand des Intensitätsmittelwertes und der Texturparameter einschließlich der Histogramme und Densitogramme die Unterscheidung von
 - Laub- und Nadelwald sowie von
 - jungen-mittelalten-alten Laub-
bzw. Nadelholzbeständen

i.d.R. möglich ist.

7.2 Auswirkung des Maßstabs im Hinblick auf die Texturaussagefähigkeit bei den untersuchten Waldbeständen.

7.21 Analyse der Textur bei den Testbeständen an Hand von Luftbildern (panchromatischen und Infrarotfarb-Aufnahmen) unterschiedlicher Maßstäbe.

Die Frage, ob und inwieweit sich Walddtypen nach Art und Altersklasse auf großmaßstäblichen Fernerkundungsaufzeichnungen dif-

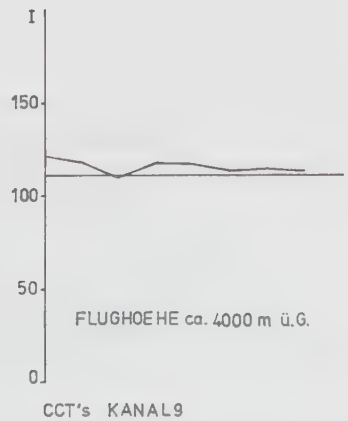
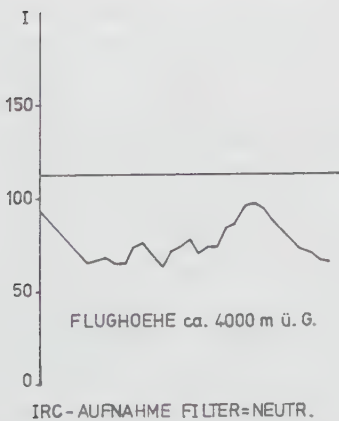
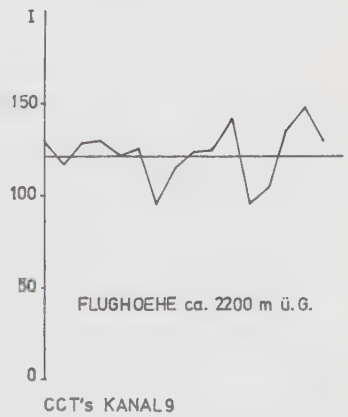
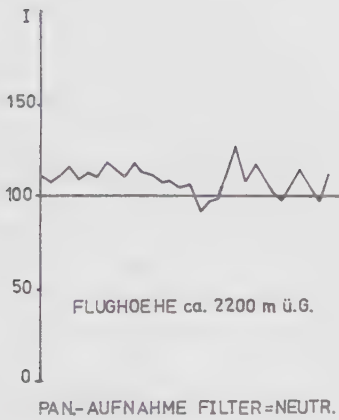
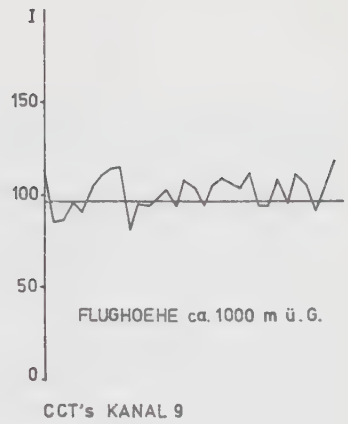
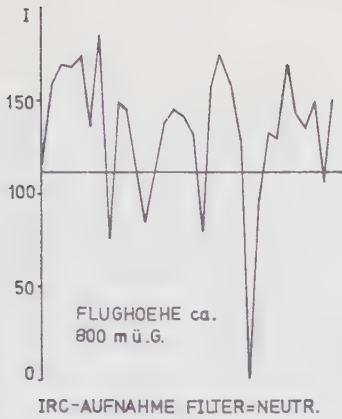


Abb.33: DENSITOGRAFIE EINES LAUBHOLZ-ALTBESTANDES AUF LUFTBILDERN UND SCANNER-AUFZEICHNUNGEN

ferenzieren lassen, wurde ausführlich im Abschnitt 7.1 behandelt.

Offensichtlich nehmen die Texturinformationen bei gegebenem Sensor mit kleiner werdendem Aufnahmemaßstab ab. Die folgenden Beispiele sollen belegen und quantifizieren, in welchem Maße diese Abnahme an Texturinformation erfolgt und bis zu welchem Grade sich die im Abschnitt 7.1 beschriebenen Differenzierungsmerkmale der Texturen bei kleinerem Aufnahmemaßstab als stabil erweisen. Es wird ferner zu fragen sein, wann der Informationsverlust so groß wird, daß eine Differenzierung von verschiedenen Waldtypen oder Altersklassen auf Grund der Textur nicht mehr möglich ist.

Das verfügbare Aufnahmematerial ließ zunächst nur einen direkten Vergleich zwischen der Luftbildaufnahme aus 800 m und 4000 m Flughöhe über Grund zu. Für den Texturvergleich standen hier von denselben Waldbeständen Infrarot-Luftbildaufnahmen des gleichen Tages, aufgenommen mit der gleichen Kamera, zur Verfügung (vgl. Abschnitt 4.1). In den Vergleich werden aber auch Aufnahmen einbezogen, die aus 2200 m Flughöhe ü.G. erfolgten, jedoch zu einem anderen Zeitpunkt, mit panchromatischem Film und zum Teil von zwar gut vergleichbaren, aber doch nicht denselben Waldobjekten.

Daraus ergibt sich für die Beurteilung, daß die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Aufnahmen aus 800 m und 4000 m vollwertiger sind als jene zwischen 800 m und 2200 m bzw. 2200 m und 4000 m. Es kann jedoch im Vorgriff auf die Ergebnisse gesagt werden, daß sich die Texturuntersuchungen der Aufnahmen aus 2200 m Flughöhe trotz der o.a. Einschränkungen gut in den Gesamtvergleich einfügen und durchaus einen aussagefähigen Vergleich der Texturinformation für die Aufnahmen aus den drei Flughöhen 800 m, 2200 m, 4000 m zulassen.

Abb. 34 zeigt für Laubholzbestände und Abb. 35 für Nadelholzbestände jeweils für die drei Altersklassen alt- mittelalt - jung typische Densitogramme nach Luftbild-Aufnahmen aus den drei o.a.

Flughöhen. In Abb. 36 und 37 sind für die gleichen Bestände die Histogramme wiedergegeben. Beides - Densitogramme und Histogramme - lassen schon optisch klar erkennen, daß ein erheblicher Informationsverlust an Textur sowohl bei den Laubholz- als auch bei den Nadelholzbeständen mit zunehmender Flughöhe eintritt.

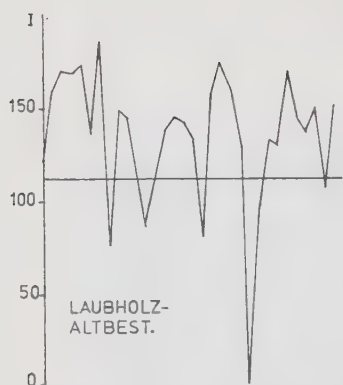
Offentichtlich ist dabei der Unterschied bezüglich des Textur-reichtums zwischen den Aufnahmen aus 800 m und 2200 m größer als jener zwischen den Aufnahmen aus 2200 m und 4000 m. Demnach lassen die Abbildungen der letzteren klar erkennen: Die Densitogramme verflachen mehr und mehr, die Frequenzen zwischen hellen und dunklen Bildpunkten nehmen ab und bei den Histogrammen zeigen sich erkennbar schlankere Verteilungen.

Über die Möglichkeiten der Identifizierung sowie der Trennung von Waldtypen verschiedener Art und Altersklasse bei den Luftbildern aus einer Höhe von 800 m ü.G. wurde ausführlich im Abschnitt 7.1 diskutiert.

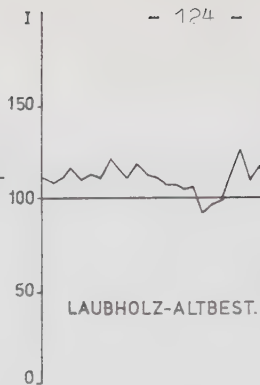
Die Auswerteergebnisse der Texturanalyse bei den Untersuchungsbeständen auf den panchromatischen Luftbildern (Flughöhe ca. 2200 m ü.G.) lassen im einzelnen folgende Schlußfolgerungen zu:

- 1) Die Texturinformationen nehmen im Vergleich zu den Luftbildern aus einer Flughöhe von ca. 800 m rapid ab (vgl. hierzu die Ergebnisse der einzelnen Texturparameter in den einschlägigen Spalten der Tab. 22).
- 2) Die Altersklassenunterschiede werden bei den Laubholzbeständen gering, so daß eine eindeutige Trennung zwischen den verschiedenen Altersklassen nicht möglich ist. Die Werte der einzelnen Texturparameter überschneiden sich für die drei Altersklassen. Lediglich Tendenzen lassen sich dabei - wie auch bei den Histogrammen und Densitogrammen - erkennen.

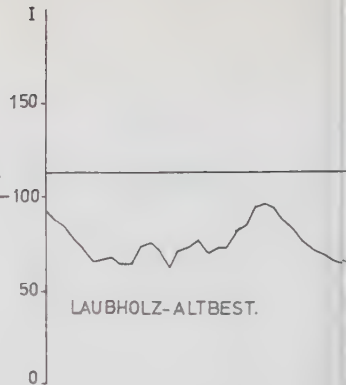
Bei den Nadelholzbeständen besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den alten und jungen Beständen, während zwischen den



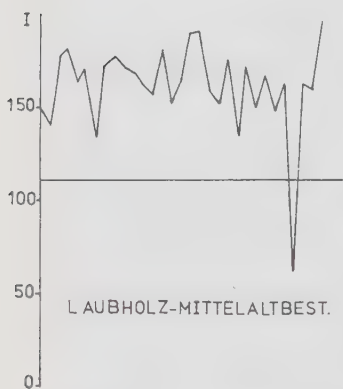
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 800 m ü.G.



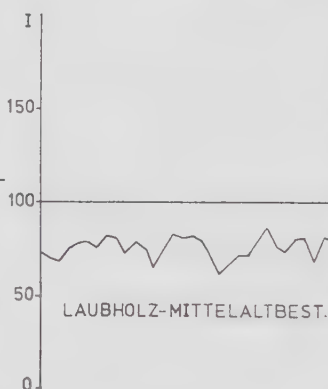
PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 2200 m ü.G.



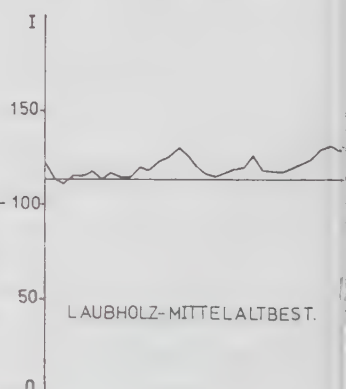
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 4000 m ü.G.



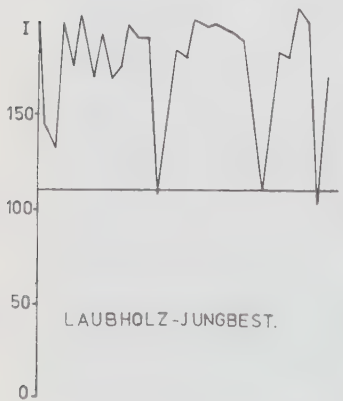
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 800 m ü.G.



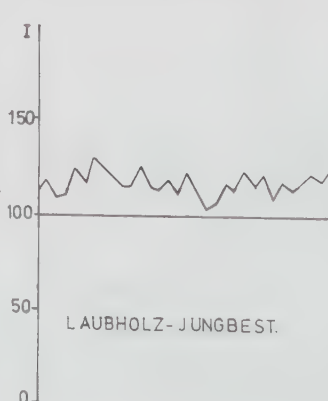
PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 2200 m ü.G.



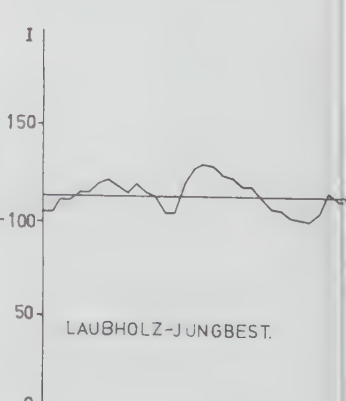
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 4000 m ü.G.



IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 800 m ü.G.

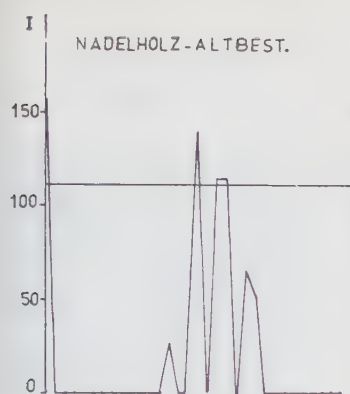


PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 2200 m ü.G.

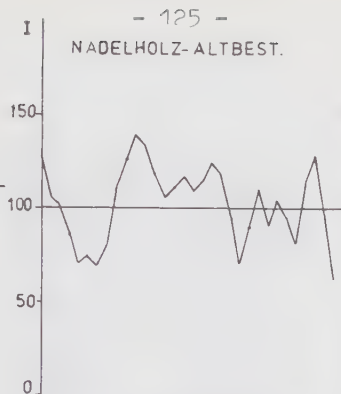


IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHOEHE ca. 4000 m ü.G.

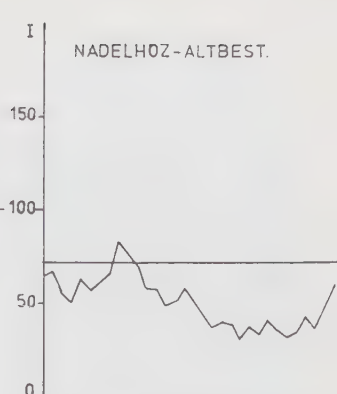
Abb.34: DENSITOGRAFIE AUSGEWÄHLTER LAUBHOLZBESTÄNDE AUF DEN LUFTBILDERN



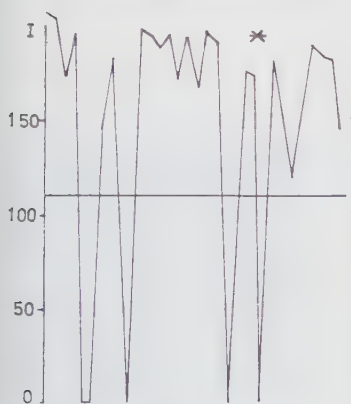
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 800 m ü.G.



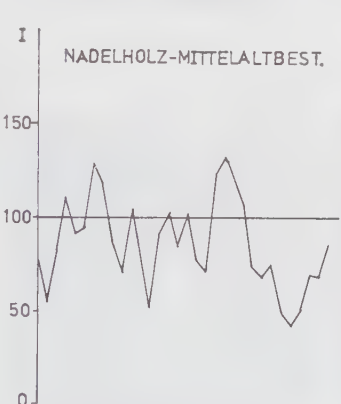
PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 2200 m ü.G.



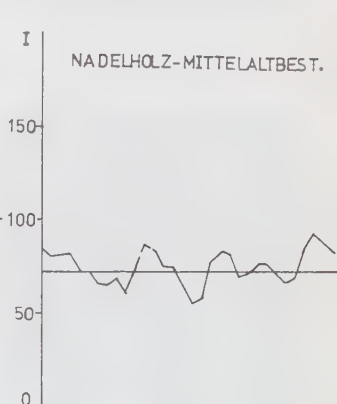
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 4000 m ü.G.



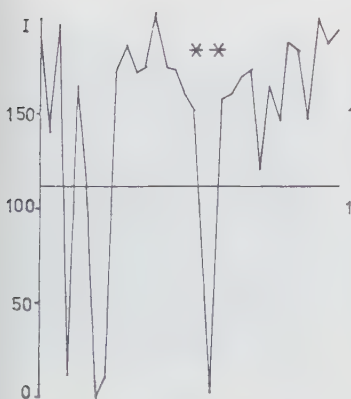
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 800 m ü.G.
*NADELHOLZ-MITTELALTBEST.



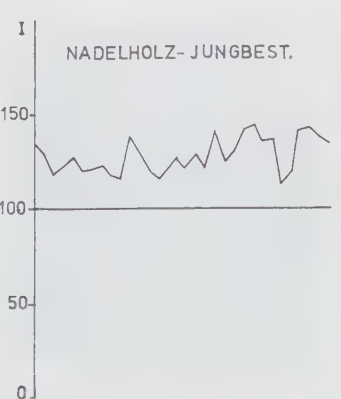
PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 2200 m ü.G.



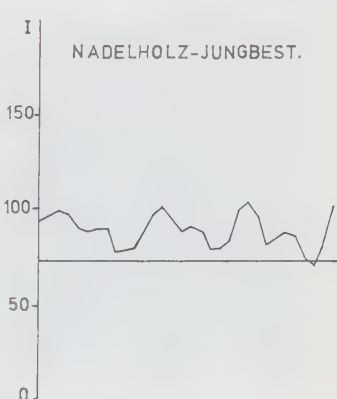
IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 4000 m ü.G.



IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 800 m ü.G.
**NADELHOLZ-MITTELALTBEST.



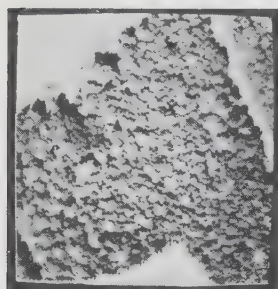
PAN.-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 2200 m ü.G.



IRC-AUFNAHME FILTER=NEUTR.
FLUGHÖHE ca. 4000 m ü.G.

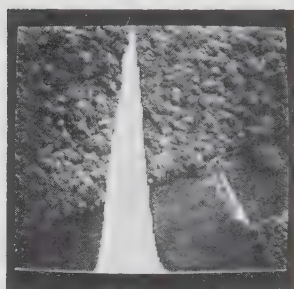
Abb. 35: DENSITOGRAFIE AUSGEWÄHLTER NADELHOLZBESTÄNDE AUF LUFTBILDERN

IRC-Luftbilder
Flughöhe ca. 800 m
ü.G.



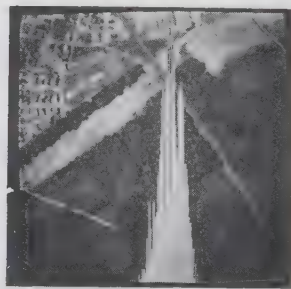
Lbh-Altbestand

Pan.-Luftbilder
Flughöhe ca. 2200 m
ü.G.

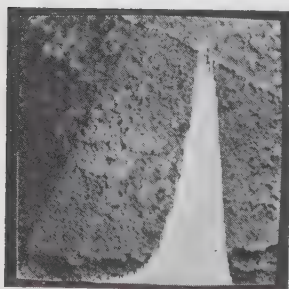


Lbh-Altbestand

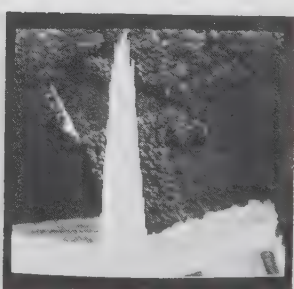
IRC-Luftbilder
Flughöhe ca. 4000 m
ü.G.



Lbh-Altbestand



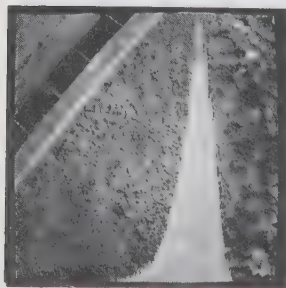
Lbh-Mittelaltbest.



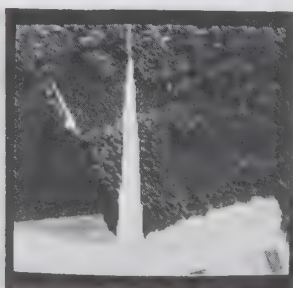
Lbh-Mittelaltbest.



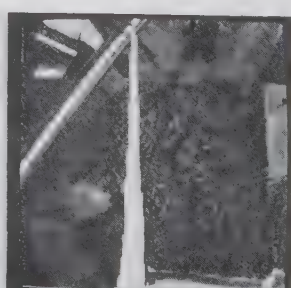
Lbh-Mittelaltbest.



Lbh-Jungbest.



Lbh-Jungbest.



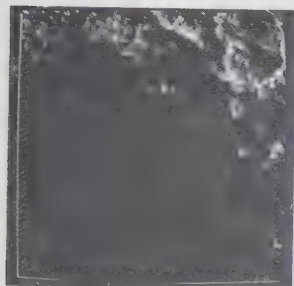
Lbh-Jungbest.

Abb. 36: Histogramme von Laubholzbeständen auf Luftbildern.

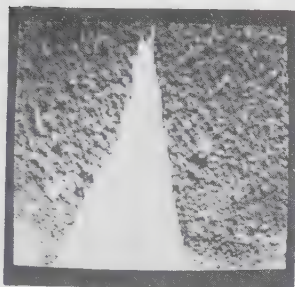
IRC-Luftbilder
Flughöhe ca. 800 m
ü.G.

- 127 -
Pan.-Luftbilder
Flughöhe ca. 2200 m
ü.G.

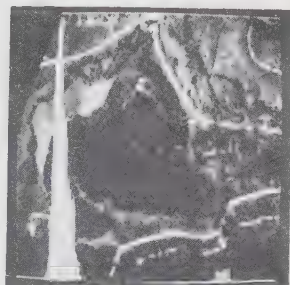
IRC-Luftbilder
Flughöhe ca. 4000 m
ü.G.



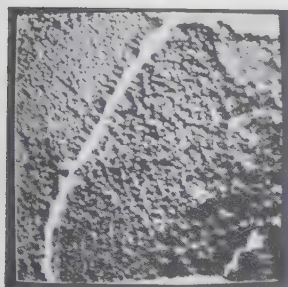
Ndh-Altbest.



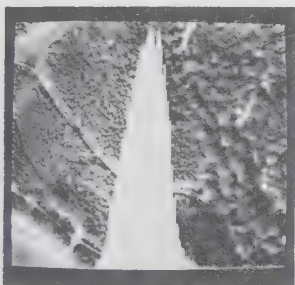
Ndh-Altbest.



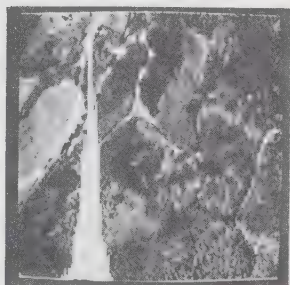
Ndh-Altbest.



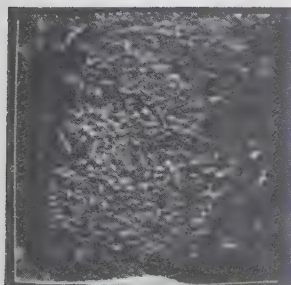
Ndh-Mittelaltbest.



Ndh-Mittelaltbest.



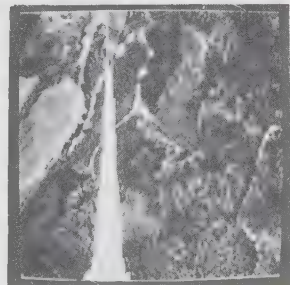
Ndh-Mittelaltbest.



Ndh-Jungbest.



Ndh-Jungbest.



Ndh-Jungbest.

Tab. 22: Auswerteergebnisse der Untersuchungsbestände auf den Luftbildern (IRC- und panchromatischen Luftbildern) verschiedener Maßstäbe für hier ausgeführte Parameter.

Luftbild-Art	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	
Flughöhe ü.G in m	800	2200	4000		800	2200	4000		800	2200	4000		800	2200	4000	
Maßstab	1:10000	1:22000	1:50000		1:10000	1:22000	1:50000		1:10000	1:22000	1:50000		1:10000	1:22000	1:50000	
Rest. Nr.	X				S				GS				FV			
1 Laubh.-Altbest.	141,7	108,1	84,8	33,1	8,1	10,7	16,9	12,5	4,4	23,3	7,5	12,6	5,1	11,4	7,9	
5 "	110,9	68,8	107,3	64,2	7,8	8,5	15,6	10,6	5,4	57,9	11,4	7,9	5,1	11,4	7,9	
6 "	133,1		136,2	48,6		7,1	16,3		4,1	36,6		5,1	5,1			
8 "	124,1		99,9	59,4		9,3	15,4		2,9	47,9		9,3	9,3			
12 "	109,0		122,9	66,1		13,2	15,9		5,4	60,6		10,7	10,7			
13 "	118,7		120,5	70,2		14,0	14,8		5,8	59,1		11,6	11,6			
16 "	84,9		101,7	65,1		13,8	13,7		4,8	76,7		13,6	13,6			
28 "		124,6			8,4			13,3		6,2						
30 "		83,4			9,2			11,1		11,0						
33 "		103,8			10,2			11,6		9,~						
3 Laubh.-Mittelaltb.	145,8	77,2	121,5	36,8	5,7	5,4	17,8	12,2	4,6	25,2	7,3	4,4	25,2	7,3	4,4	
4 "	115,7	83,7	118,9	51,9	6,9	6,9	16,~	13,5	4,8	44,9	8,2	5,~	44,9	8,2	5,~	

Luftbild-Art	800			2200			4000			800			2200			4000			800			2200			4000		
	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC	IRC	Pan.	IRC
Flughöhe ü.G. in m	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000	800	2200	4000
Maßstab	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000	1 : 10000	1 : 22000	1 : 50000
Best. Nr.	X			S			GS			PV																	
7 Laubh.-Mittelaltb.	134,0	125,4	43,6	6,6	19,0	3,9	32,5	5,3																			
11 "	163,7	104,5	38,7	8,3	17,1	3,6	23,6	7,9																			
31 "	103,0			9,9			11,7	9,6																			
2 Laubh.-Jungbest.	173,1	115,4	104,4	28,4	8,2	7,0	18,9	14,8	4,6	16,4	7,1	6,7															
9 "	159,3	109,6	24,5	3,1	18,5	3,9	15,4	2,6																			
17 "	154,8	105,6	41,8	6,1	18,1	5,3	26,9	5,7																			
18 "	168,4	108,7	21,3	5,1	18,4	4,8	12,6	4,7																			
27 "	105,1			6,5			14,5	6,2																			
29 "	96,4			5,8			13,3	6,1																			
32 "	109,3			6,5			13,1	5,9																			
19 Nadelh.-Altbest.	54,1	62,6	64,7	11,2	10,8	4,9	119,6	17,9																			
25 "	36,4	78,3	45,6	7,4	10,4	5,0	140,2	16,1																			
26 "	20,0	96,6	59,9	8,5	7,1	6,6	213,9	14,1																			
34 "	91,7			28,6			10,1	31,2																			
24 Nadelh.-Mittelaltb.	174,2	122,2	72,8	7,9	17,2	5,9	61,9	10,8																			
22 Nadelh.-Jungbest.	147,5	126,9	90,6	7,1	16,4	5,6	32,1	7,8																			
35 "	100,5			21,9			15,3	21,7																			

mittelalten und jungen bzw. zwischen den alten und mittelalten Beständen nur geringfügige Unterschiede auftreten (vgl. hierzu die Tab. 22 und die Abb. 34 und 35).

- 3) Eine deutliche Trennung besteht zwischen den älteren Nadelholztypen und den Laubholztypen aller Altersklassen. Auch eine Trennung zwischen den Nadelholz- und Laubholzbeständen in den jeweils gleichen Altersklassen ist noch möglich (vgl. hierzu Tab. 22 und Abb. 34 und 35 sowie die Histogramme Abb. 36 und 37).
- 4) Es ist durchaus berechtigt, anzunehmen, daß die Ergebnisse merkbar verbessert werden könnten, wenn die Aufnahmen aus dieser Flughöhe entweder mit einem höher auflösenden panchromatischen Film (z.B. AGFA-Gevaert Pan 30 statt wie hier mit Pan 36) oder aber mit einem Infrarotfarbfilm durchgeführt würden. Für ersteres spricht das höhere Auflösungsvermögen⁶⁾ als solches, für die zweite Vermutung die bei den vorliegenden Texturanalysen auf Infrarot-Farbluftbildern gesammelten Erfahrungen und Ergebnisse. Hier ist auf die Auswertergebnisse der Bilder aus 800 m im Maßstab 1 : 10 000 (vgl. Abschn. 7.12) und auf jene aus 4 000 m im Maßstab 1 : 50 000 zu verweisen. Trotz des gleichen nominellen Auflösungsvermögens für die hier verwendeten Filme (AGFA- Gevaert Pan 36 und Kodak Infrarot-Farbfilm - vgl. Fußnote -) bringt die Infrarot-Farbaufnahme offenkundig weitergehende Texturinformationen. Ein Grund hierfür wird darin gesehen, daß die spektralen Reflexionsunterschiede zwischen den Laub- und Nadelbaumarten sowie ggf. zwischen jungen und alten Bäumen bzw. Beständen der gleichen Baumartengruppe weitgehender und besser vom dreischichtigen "multispektralen" Infrarot-Farbfilm als vom einschichtigen und breitbandigen panchromatischen Film in Helligkeitsunterschiede

6) Auflösungsvermögen nach Firmenangaben

AGFA-Gevaert Pan 36 bei	Testobjekt	kontrast	1000:1	85 L/mm
Pan 33 "	"	"	"	95 L/mm
Pan 30 "	"	"	"	133 L/mm
Kodak Infrarot-Color	"	"	"	80 L/mm

umgesetzt werden können, und daß die Farbwerte gegenüber der Grauwertdifferenzierung zu weitergehenden Texturmerkmalen führt. Diese Überlegungen, die durch die Ergebnisse dieser Untersuchungen gestützt - wenn auch noch nicht schlüssig bewiesen - werden, stehen in guter Übereinstimmung mit dem Urteil, das Hildebrandt und Heller schon 1971 vortrugen: "Color (hue) and chroma are two additional dimensions for photo interpretation. The human eye can separate more than 1000 times more color combinations than grey scale values. Therefore, the information channels offered by color and still more by false color are much broader than on black and white prints" (Hildebrandt, Heller 1971, S. 167/8). Diese Äußerung bezieht sich sowohl auf Spektral- wie auch auf Texturinformationen.

Hinzu kommt die weitere, schon im Abschnitt 7.12 diskutierte Möglichkeit, durch geeignete Filterung bei der Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern die Unterscheidung von Altersklassenunterschieden beim gleichen Waldtyp zu verbessern.

Die folgenden Beispiele stellen die Auswerteergebnisse der untersuchten Testbestände auf den IRC-Hasselbladaufnahmen aus Flughöhe ca. 4000 m ü.G. dar.

Bei der Betrachtung der einzelnen Ergebnisse der Texturparameter in der Tab. 22 stellt man noch deutlicher als bei den (panchromatischen) Aufnahmen aus 2200 m fest, daß:

- 1) der Verlust der Texturinformationen im Vergleich zu IRC-Hasselbladaufnahmen aus Flughöhe ca. 800 m ü.G. erheblich ist (vgl. auch die Abb. 34 und 35 sowie die Abb. 36 und 37).
- 2) die Trennung zwischen den Laub- und Nadelholztypen zwar an Hand der mittleren Intensitätswerte möglich ist, nicht jedoch an Hand der anderen Texturparameter (siehe Tab. 22) bzw. der Densitogramme;
- 3) die Unterscheidung zwischen den einzelnen Altersklassen bei

den Nadelholzbeständen über den mittleren Intensitätswert und den Variationskoeffizienten der Intensitätswerte möglich ist, während die Standardabweichung der Intensitätswerte und die Grauwertschwankung sowie die Histogramme und Densitogramme keine sicheren Unterscheidungen zulassen;

- 4) die Unterscheidung zwischen den Altersklassen bei den Laubholzbeständen dagegen eher über die Standardabweichung und die Variationskoeffizienten der Intensitätswerte möglich ist.

7.22 Analyse der Textur bei den Testbeständen an Hand von Multispektral-Scanneraufzeichnungen (CCT-Bänder) unterschiedlicher Maßstäbe.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse wurde der Maßstabsvergleich für die Scanneraufzeichnungen auf die Auswertung der Daten des Kanals 9 beschränkt. Die Unterscheidungsmöglichkeiten von Laubholz- und Nadelholzbeständen und von Altersklassen war in diesem Kanal am besten (vgl. 7.13). Da das verfügbare Aufnahmematerial nur für die Laubholzbestände aus 1000 m - 2200 m - 4000 m Flughöhe für einen Vergleich zur Verfügung stand, wird die vergleichende Texturanalyse zunächst für die Laubholzbestände vorgenommen.

Der Vergleich der Texturinformationen in den Scanneraufzeichnungen aus den drei o.s. Flughöhen ergab für einen jungen und alten Laubholzbestand die in Tab. 33 zusammengefaßten Ergebnisse. Zur Beurteilung können ferner die entsprechenden Bilder der Abb. 33 (jeweils rechte Seite) hinzugezogen werden. Die gewonnenen Ergebnisse lassen folgendes erkennen:

- Der Verlust an Texturinformationen nimmt mit größer werdender Flughöhe, wie erwartet, zu. Dies gilt für alle untersuchten Texturparameter.

Tab. 23: zeigt auszugsweise die Auswerteergebnisse einiger Laubholzbestände in zwei unterschiedlichen Altersklassen (alt, jung) aus den Multispektral-Scanneraufzeichnungen verschiedener Maßstäbe im Kanal 9

	Flughöhe ca. 1000 m ü.G.		Flughöhe ca. 2200 m ü.G.		Flughöhe ca. 4000 m ü.G.	
Parameter	alt	jung	alt	jung	alt	jung
$\bar{X}$	93,63	118,96	93,44	111,30	108,00	114,81
S	12,32	7,38	5,51	2,89	5,77	4,41
GS	5,94	7,87	2,62	1,25	3,00	2,12
NH	1,44	1,75	2,25	1,00	1,50	1,37
LH	2,41	10,24	3,19	8,00	1,96	5,62
PV	13,15	6,20	5,89	2,60	5,34	3,84

Gleichzeitig wurden die Unterscheidungsmöglichkeiten zwischen dem jungen und dem alten Bestand geringer.

- Die Textur junger und alter Laubholzbestände ist in den Scanneraufzeichnungen aus 1000 m Flughöhe deutlich unterschiedlich. Dies gilt für den mittleren Intensitätswert, die Standardabweichung und den Variationskoeffizienten der Intensitätswerte sowie für die Grauwertschwankung und die "Länge der hellen Stellen" (vgl. auch Abb. 29).
- Die Ergebnisse der Auswertung der Scannerdaten aus 2200 m Flughöhe zeigen für die soeben genannten Texturparameter zwar auch noch für eine Differenzierung nach dem Alter brauchbare, jedoch schon durchweg erheblich geringe Unterschiede. Auch der Vergleich

der Densitogramme des gleichen Bestandes, sowie sie sich aus den Aufnahmen aus 1000 m und 2200 m ergaben (Abb. 33 rechte Seite), läßt den Verlust an Texturinformation, aber auch die bei 2200 m Flughöhe noch vorhandene Texturinformation gut erkennen.

- Eine drastischere Reduktion der Texturinformation belegen dann jedoch die Ergebnisse, die aus den Daten der Scanneraufzeichnung aus 4000 m hervorgingen. Tab. 23 und Abb. 33 (rechts unten) zeigen, daß die Unterschiede der Texturparameter für den jungen und den alten Laubholzbestand so gering geworden sind, daß darauf kaum noch eine Klassifizierung aufgebaut werden kann. Das Densitogramm des alten Bestandes (Abb. 33 rechts unten) macht dabei durch seinen fast geradlinigen, undifferenzierten Verlauf die "Einebnung" der Texturmerkmale auch optisch sehr deutlich.
- Obwohl Nadelholzbestände in der gleichen vergleichenden Weise nicht untersucht werden konnten, lassen sich aufgrund der in Kap. 7.13 (u.a. in Tab. 19) dargestellten Ergebnisse einige Aussagen machen:

1) zumindest bis zur Flughöhe von 2200 m reichen die Texturinformationen von Scanneraufzeichnungen im Kanal 9 aus, um Laub- und Nadelholzbestände voneinander zu unterscheiden,

2) sie reichen ferner aus, um über die mittleren Intensitätswerte junge von mittelalten und alten Nadelholzbeständen und über die Standardabweichung sowie die Variationskoeffizienten und ggf. auch über die Grauwertschwankung die alten von den jungen und mittelalten Ndh-Beständen zu trennen,

3) es ist angesichts der Vergleiche der Texturinformationen aus 4000 m Flughöhe von Laubholzbeständen im Analogieschluß wohl zulässig, anzunehmen, daß auch bei Nadelholzbeständen hier die Texturinformationen so abnehmen, daß Differenzierungen nach dem Alter der Nadelholzbestände nicht mehr sicher mög-

lich sein werden. Spätere Untersuchungen mögen diese Annahme prüfen.

7.23 Vergleichende Texturanalyse zwischen den Untersuchungsständen, die sowohl auf den Luftbildern als auch auf den multispektralen Scanneraufzeichnungen in verschiedenen Maßstäben ausgewertet wurden.

Abb. 33 zeigt die Densitogramme eines Laubholzbestandes. Zugrunde liegen Luftbilder sowie die Scanneraufzeichnungen jeweils aus der Flughöhe ca. 1000 m, 2200 m und 4000 m ü.G.

Vergleicht man die Densitogramme in Abb. 33 und die einzelnen Auswerteergebnisse in der Tab. 24 miteinander, so stellt man fest, daß:

- 1) bei gleicher Flughöhe die photographische Aufnahme erheblich mehr Textur und damit Erkennungsinformation vermittelt;
- 2) beim gleichen Sensor - wie schon in vorangehenden Abschnitten beschrieben wurde - die Densitogrammkurven mit zunehmender Höhe flacher werden;
- 3) die photographische Aufnahme aus 4000 m Flughöhe trotz der Verluste an Texturinformationen mit zunehmender Flughöhe noch geringfügige, für eine sichere Klassifizierung jedoch nicht mehr ausreichende Texturen erkennen läßt. Bei den Scanneraufzeichnungen tritt der starke, die sichere Klassifizierung in Frage stellende Verlust an Texturinformation dagegen bereits bei einer Flughöhe von ca. 2200 m auf. Er erreicht bei Aufnahmen aus 4000 m ein Ausmaß, daß Texturinformationen nahezu verschwinden.
- 4) Eine Gegenüberstellung der Densitogramme, die aus den aus 2200 m Höhe aufgenommenen panchromatischen Hasselbladbildern und den aus 1000 m aufgenommenen Scannerdaten hervorgegangen

sind (Abb. 33), zeigt, daß die beiden Kurven ähnlichen Verlauf aufweisen. Sie deuten damit an, daß in den beiden aus verschiedenen Höhen aufgenommenen Aufzeichnungen ähnliche Texturinformationen vorliegen. Dies wird - wenigstens bis zu einem gewissen Grade - auch durch die Daten in Tab. 24 bestätigt.

Tab. 24: Auswerteergebnisse eines Laubholzbestandes, geordnet nach Aufnahmeart und Texturparametern.

	Hasselbladaufnahmen			Multispektral-Scanneraufnahmen		
	IRC	Panchrom.	IRC			
Parameter	Flughöhe ca.1000m	Flughöhe ca.2200m	Flughöhe ca.4000m	Flughöhe ca.1000m	Flughöhe ca.2200m	Flughöhe ca.4000m
X	109,05	103,86	107,31	93,63	93,44	108,00
S	66,10	10,19	8,51	12,32	5,51	5,77
GS	15,93	11,62	5,43	5,94	2,62	3,00
NH	5,34	4,25	2,63	1,44	2,25	1,50
LH	3,67	4,84	3,64	2,41	3,19	1,96
PV	60,61	9,79	7,93	13,15	5,89	5,34

Die Streuung der Intensitätswerte und auch die entsprechenden Variationskoeffizienten sind bei diesen beiden nach Sensor und Flughöhe verschiedenen Aufzeichnungen ähnlich.

Fragt man bei diesem Vergleich weiter darnach, welche dieser beiden sehr unterschiedlichen Aufnahmen mehr Texturinformation

und damit Erkennungsmöglichkeit bietet, so kommt man zu folgendem Ergebnis:

Parameter	Luftbild aus 2200 m panchromatisch	MSS-Aufzeichnung 1000m, Kanal 9
Densitogramm	=	=
Histogramm	=	=
Streuung d. Intensit.-Werte	-	+
Variationskoeffizienten	-	+
Grauwertschwankung	+	-

= bedeutet "ähnlich"

+ bedeutet "besser"

- bedeutet "schlechter"

So bleibt bei diesem Vergleich noch ein geringer Vorteil der MSS-Aufzeichnung aus 1000 m gegenüber der Schwarzweiß-Luftbildaufnahme aus 2200 m bezüglich der nachweisbaren Texturinformation. Zu berücksichtigen ist dabei freilich vor einer Generalisierung dieser Aussage, daß das Schwarzweiß-Luftbildmaterial der Hasselblad-Aufnahme nicht von optimaler, mit RMK-Aufnahmen erzielbarer Bildqualität war.

Offenbar belegt dieser Vergleich aber nicht die frühere Feststellung (Masumy, Hildebrandt 1977), wonach der Texturgehalt von MSS-Aufzeichnungen aus 1000 m Höhe mit jenen aus 4000 m aufgenommenen Luftbildern vergleichbar ist. Zutreffender erscheint nach Abschluß dieser Texturanalyse vielmehr die Feststellung, daß der Texturgehalt von Luftbildern aus 2200 m und jener von MSS-Aufzeichnungen aus 1000 m ähnlich sind.

Ausgehend von den untersuchten Beispielen - und zunächst beschränkt auf diese - kann man feststellen, daß man, um die

Texturinformation einer Luftbildaufnahme aus 2200 m Flughöhe zu erhalten, mit dem Scanner die Szene aus 1000 m aufnehmen müßte.

- 5) Die Histogramme (siehe Abb. 32) bestätigen die in diesem Abschnitt von 1 bis 5 aufgeführten Aussagen und deuten darüber hinaus darauf hin, daß die Luftbilder bis zur Flughöhe von ca. 2200 m ü.G. recht gute Texturinformationen liefern, die zur Differenzierung der Walddtypen und deren Altersklassen ausreichen würden (vgl. hierzu auch die Histogramme der Nadel- und Laubholzbestände bei den Luftbildern aus der Flughöhe ca. 2200 m ü.G. Abb. 36 und 37).

Die Trennung zwischen den Laub- und Nadelholzbeständen bzw. zwischen den einzelnen Altersklassen der jeweiligen Bestandestypen ist dagegen bei den Scanneraufzeichnungen aus der Flughöhe ca. 2200 m ü.G. nur beschränkt möglich. Diese Aussage kann deutlich unterstrichen werden, wenn man die schmale und sehr texturarme Histogrammverteilung der Intensitäten (siehe Abb. 32; CCT's Flughöhe 2200 m ü.G.) betrachtet.

7.3 Einflüsse der Bildortabhängigkeit auf die Texturmerkmale

Die folgenden Beispiele beschreiben die Variation der Texturmerkmale gleicher oder ähnlicher Objekte, die unterschiedliche Bildortlage aufweisen. Um das Phänomen der Bildortabhängigkeit der Texturmerkmale untersuchen zu können, wurden gleiche oder ähnliche Testbestände in unterschiedlicher Bildlage (Mitlicht-, Bildmitten- und Gegenlicht-Lage) auf den IRO-Hasselbladaufnahmen aus den Flughöhen ca. 800 m und 4000 m ü.G. untersucht. Die Auswerteergebnisse aller Untersuchungsbestände je nach Bildortlage (T = Mitlicht-, M = Bildmitten (Mittellicht) -, G = Gegenlicht-Lage) sind getrennt nach Walddtypen und Altersklassen in

den Tabellen 25 für IRC-Hasselbladaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. und 26 für IRC-Hasselbladaufnahmen aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. zu finden.

Zunächst werden die Ergebnisse der IRC-Hasselbladaufnahmen aus der Flughöhe ca. 800 m ü.G. (Tab. 25) sowie die graphischen Darstellungen der Abbildungen 38, 39 und 40 betrachtet. Sie zeigen eindeutig, daß die Textur aller Objekte stark bildortabhängig ist (vgl. hierzu auch Schade 1976, Rohde 1977). Am stärksten ist diese Bildortabhängigkeit bei den Grobtexturen, hier vor allem bei den alten Nadelholzbeständen. Bei den einzelnen Texturparametern zeigen die Intensitätsmittelwerte und die Variationskoeffizienten die größeren Bildortabhängigkeiten. Dagegen weisen die Grauwertschwankungen deutlich geringere Bildortabhängigkeiten auf.

Die bildortbedingte Variabilität der Texturmerkmale ist bei den Laubholztypen mit homogenem und weniger in sich vertikal gegliedertem Kronendach geringer ausgeprägt als bei den Nadelholztypen mit ihrem rauen und mehr in sich vertikal gegliederten Kronendach.

Bei den einzelnen Altersklassen ist das Phänomen der Bildortabhängigkeit bei den alten Beständen wesentlich größer als bei den jungen Beständen. Diese Altersabhängigkeit ist jedoch bei den Nadelholzbeständen am deutlichsten. Die Werte der einzelnen Texturparameter nehmen z.B. bei $\bar{X}$ und GS generell von Mitlicht (T) über Bildmitte (M) zu Gegenlicht (G) hin ab. Im Gegensatz dazu nehmen die Variationskoeffizienten (PV) von Mitlicht über Bildmitte zum Gegenlicht-Bereich hin zu.

Die Erkenntnis, daß die PV-Werte im Gegenlichtbereich am größten sind, führt dazu, daß die Texturen aller Objekte im Gegenlichtbereich relativ kontrastreicher sind als im Bildmittenbereich. Dagegen ist im Mitlichtbereich der relative Kontrast der Texturmerkmale am geringsten.

Tab. 25: Auswertedaten der Untersuchungsbestände auf IRC-Hasselbladaufnahmen (Flughöhe ca. 800 m ü.G.), getrennt nach Bildortlage der abgebildeten Testbestände.

T = Mitlicht

M = Bildmitte

G = Gegenlicht

Nr.	Bestandestyp. und Altersklasse	Bildorts-lage	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	T	141,73	32,97	16,93	3,75	11,42	23,26
2	"	"	149,80	35,12	16,53	3,29	10,31	23,44
3	"	"	150,00	45,48	16,56	3,71	10,66	30,32
4	"	"	137,05	55,56	17,03	5,21	5,11	40,53
5	"	"	137,06	60,42	15,96	4,21	6,57	44,08
6	"	M	110,90	64,18	15,59	6,00	3,56	57,87
7	"	"	132,99	48,66	16,28	4,50	6,48	36,58
8	"	"	124,10	59,42	15,43	4,46	6,35	47,88
9	"	"	109,05	66,10	15,93	5,34	3,67	60,61
10	"	"	118,76	70,21	14,81	4,96	4,55	59,11
11	"	"	118,78	66,12	14,03	4,28	5,48	55,66
12	"	G	81,48	62,52	14,12	6,31	2,40	76,73
13	"	"	115,96	65,64	16,71	5,53	3,97	56,60
14	"	"	84,88	65,10	13,75	5,50	2,77	76,69
15	Laubh.-Mittelaltb.	T	152,62	29,32	18,62	3,03	11,16	19,21
16	"	"	159,93	28,32	19,18	2,56	14,87	17,70
17	"	"	167,46	36,52	15,56	2,59	15,04	21,80
18	"	M	145,77	36,79	17,84	3,46	11,06	25,23
19	"	"	134,05	43,64	19,03	5,59	4,95	32,55
20	"	"	163,73	38,74	17,12	2,71	14,08	23,66
21	"	G	115,77	51,99	16,78	5,90	3,86	44,90
22	"	"	142,27	51,80	17,25	4,09	7,85	36,40
23	Laubh.-Jungbest.	T	173,15	28,44	18,90	2,03	18,89	16,42
24	"	"	165,66	19,93	19,00	1,50	24,70	12,02
25	"	"	171,90	28,95	19,12	2,28	16,59	16,84
26	"	"	172,04	17,30	19,46	1,37	26,15	10,05

noch Tab. 25

Nr.	Bestendestyp und Altersklasse	Bild- orts- lage	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
27	Laubh.-Jungbest.	M	159,34	24,48	18,56	2,18	18,85	15,36
28	"	"	169,42	25,68	17,50	1,78	22,77	15,15
29	"	"	154,78	41,76	18,12	3,43	10,18	26,98
30	"	"	168,45	21,27	18,37	1,56	24,76	12,62
31	"	G	149,97	32,11	18,28	3,53	11,39	21,41
32	"	"	125,93	46,61	17,96	5,78	4,63	37,01
33	"	"	97,56	58,12	18,18	7,34	2,52	59,57
34	"	"	138,84	32,55	17,75	4,09	7,96	23,44
35	Nadelh.-Altbest.	T	99,21	64,00	16,25	6,28	3,05	64,50
36	"	"	66,24	62,21	13,53	5,25	2,24	93,91
37	"	M	54,08	64,71	10,78	4,68	2,03	119,65
38	"	"	66,84	66,02	14,46	5,75	2,03	98,77
39	"	"	36,36	50,90	10,37	3,34	1,59	139,98
40	"	G	23,06	44,12	9,31	2,43	1,29	191,32
41	"	"	15,75	34,58	5,75	1,15	1,07	219,55
42	"	"	20,02	42,84	7,12	2,06	1,20	213,98
43	Nadelh.-Mittelaltb	T	168,92	40,74	18,09	3,00	11,20	24,11
44	"	M	114,17	70,73	17,21	6,68	3,11	61,95
45	"	G	64,30	69,76	15,65	6,06	1,85	108,49
46	Nadelh.-Jungbest.	T	197,36	17,41	16,40	1,06	30,96	8,82
47	"	M	147,49	47,39	16,43	3,96	7,53	32,13
48	"	G	106,80	66,20	17,15	6,65	3,11	61,98

Tab. 26: Auswertedaten der Untersuchungsbestände auf IRC-Hasselblad-
aufnahmen (Flughöhe ca. 4000 m ü.G.), getrennt nach Bildort-
lage der abgebildeten Testbestände.
T = Mitlicht M = Bildmitte G = Gegenlicht

"r.	Bestandestyp und Altersklasse	Bild- orts- lage	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
1	Laubh.-Altbest.	T	84,81	10,69	4,40	0,09	0,06	12,60
2	"	"	114,99	4,20	3,43	3,71	7,06	3,65
3	"	"	122,15	13,04	4,84	2,75	10,27	10,67
4	"	"	102,40	11,15	5,28	2,25	3,29	10,88
5	"	"	117,37	11,69	5,28	3,43	6,34	9,95
6	"	M	107,31	8,51	5,43	2,68	3,64	7,93
7	"	"	136,18	6,99	4,15	1,09	30,34	5,13
8	"	"	99,92	9,27	2,87	0,93	1,94	9,27
9	"	"	122,90	13,17	5,37	2,34	12,01	10,71
10	"	"	120,51	14,03	5,87	3,15	8,33	11,64
11	"	"	114,25	12,01	5,03	2,90	6,44	10,51
12	"	"	101,73	13,83	4,81	2,68	3,16	13,59
13	"	G	93,56	6,85	5,50	0,06	0,18	7,32
14	"	"	111,64	8,55	5,03	3,71	5,36	7,65
15	"	"	112,18	11,59	4,87	2,59	6,38	10,33
16	"	"	92,32	11,85	5,40	0,65	1,60	12,83
17	Laubh.-Mittelaltb.	T	114,02	5,73	2,43	2,31	10,34	5,02
18	"	"	135,77	10,81	5,31	1,15	29,03	7,96
19	"	"	124,91	12,19	5,18	2,53	10,99	9,75
20	"	M	121,53	5,42	4,59	1,71	19,59	4,45
21	"	"	118,91	6,96	4,87	3,21	11,10	5,85
22	"	"	125,38	6,66	3,96	1,53	23,28	5,31
23	"	"	104,49	8,27	3,56	1,43	4,17	7,91
24	"	"	130,33	13,64	5,03	2,09	16,36	10,46
25	"	G	111,83	5,17	4,31	3,53	4,45	4,62
26	"	"	105,88	5,98	4,90	1,06	3,70	5,64
27	"	"	111,52	9,61	5,12	3,03	5,23	8,61
28	"	"	101,73	10,02	3,53	1,31	3,86	9,84

noch Tab. 26

Nr.	Bestandestyp und Altersklasse	Bild- orts- lage	$\bar{X}$	S	GS	NH	LH	PV
29	Laubh.-Jungbest.	T	104,45	7,00	4,59	1,96	2,24	6,70
30	"	"	139,30	6,20	4,84	1,00	32,00	4,45
31	"	"	140,53	7,54	5,46	1,03	31,48	5,36
32	"	"	105,57	5,99	5,28	1,90	2,00	5,67
33	"	"	108,74	5,10	4,78	2,93	2,95	4,69
34	"	M	109,65	3,11	3,93	2,03	3,00	2,83
35	"	"	120,15	5,86	3,18	1,50	23,26	4,87
36	"	G	118,32	5,02	4,71	2,40	14,18	4,24
37	"	"	124,04	6,64	5,09	1,68	20,64	5,35

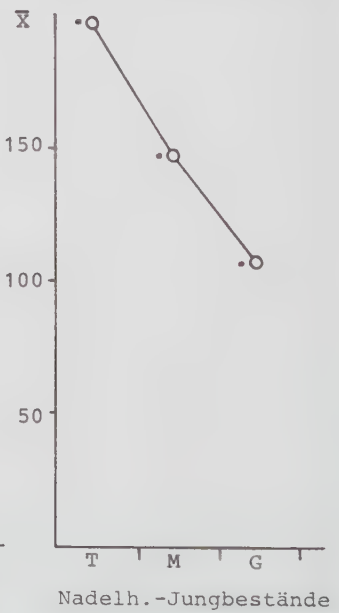
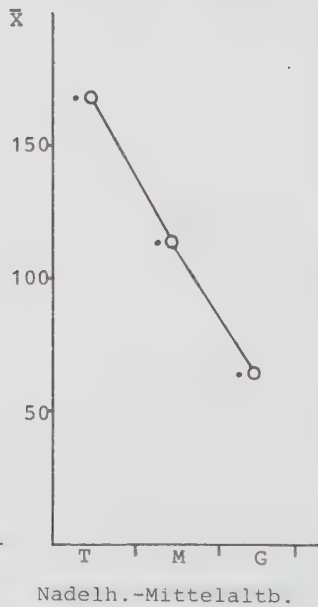
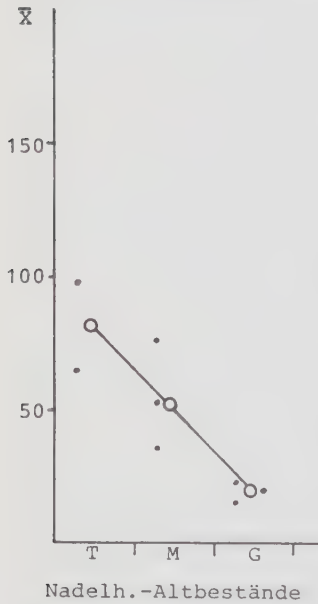
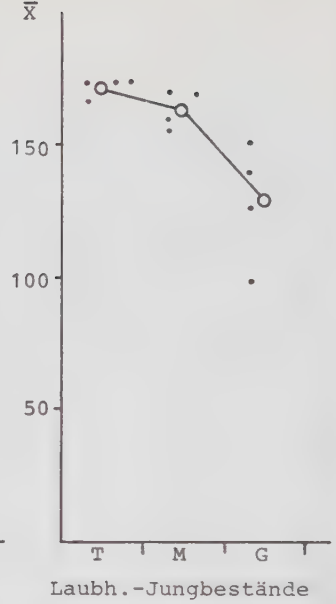
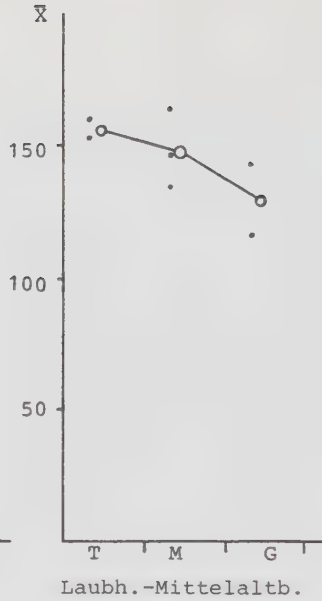
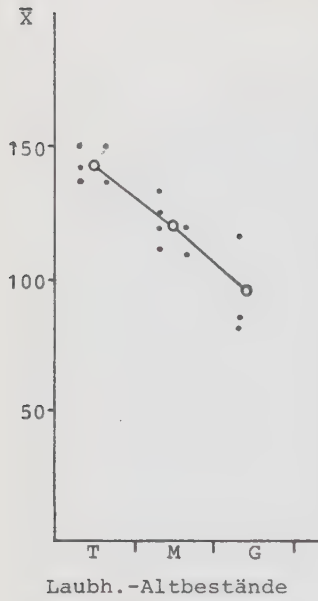


Abb.38: Graphische Darstellung der Bildortlagen in Abhängigkeit vom Intensitätsmittelwert ($\bar{X}$); IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca.800 m ü.G.

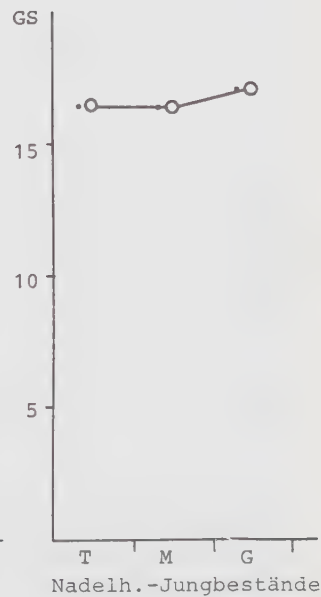
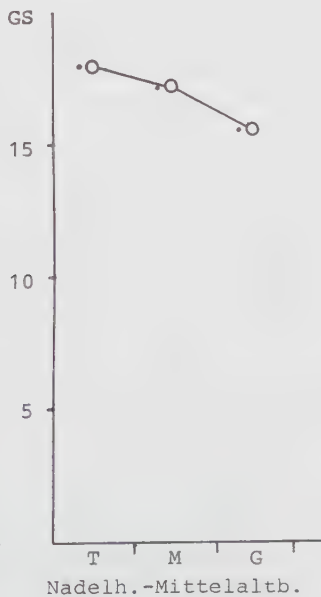
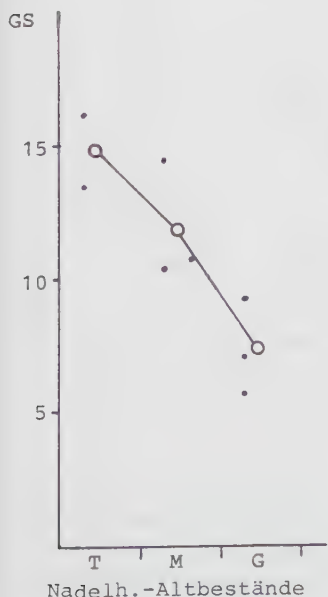
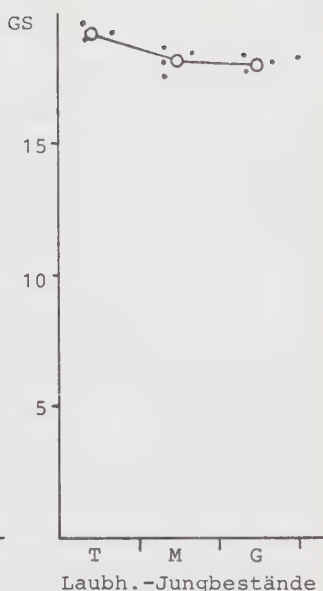
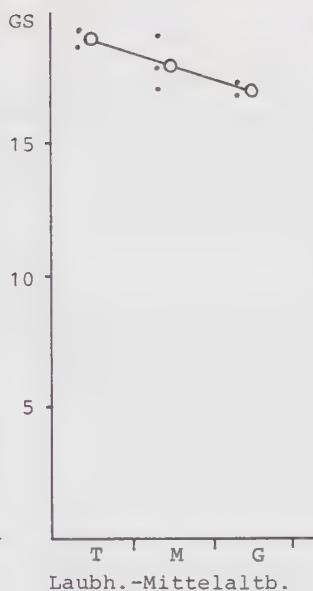
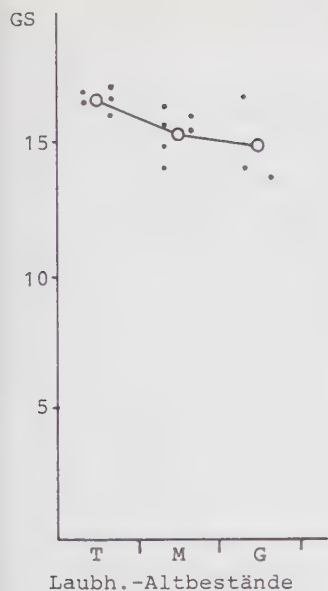


Abb.39: Graphische Darstellungen der Bildortlagen in Abhängigkeit von der Grauwertschwankung(GS); IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca.800 m ü.

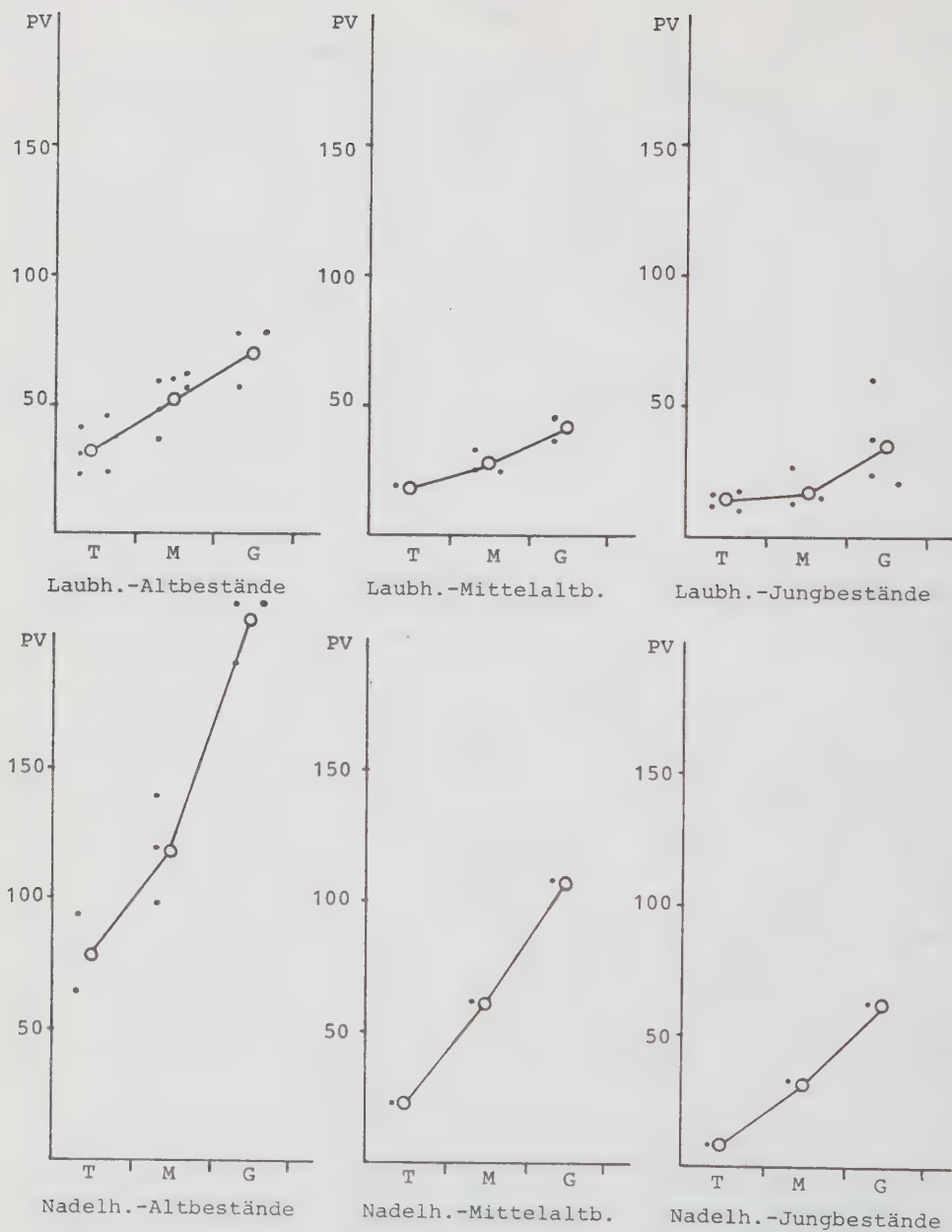


Abb.40: Graphische Darstellungen der Bildortlagen in Abhängigkeit vom Pearson'schen Variationskoeffizienten(PV); IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca.800 m ü.G.

An Hand einer Reihe von Untersuchungen und Beispielen im Kapitel 7.11 und 7.12 wurde festgestellt, daß unter den hier untersuchten Texturparametern der Variationskoeffizient (PV) einer der besten und stabilsten Texturparameter zur Trennung der Waldtypen und Altersklassen ist.

Wegen der radialen Punktversetzung und wegen der optimalen Beleuchtungs- und Kontrastverhältnisse bietet der Bildmittenbereich i.d.R. die günstigste und optimale Bedingung zur Analyse der Textur an. Im Hinblick darauf, daß die PV-Werte im Gegenlichtbereich am größten (und damit dort die Kontrastverhältnisse besonders günstig) sind (s.o.), erscheint es ratsam, für Texturanalysen, die über den Bildmittenbereich hinausgehen sollen, in erster Linie den Gegenlichtbereich mit einzubeziehen.

Nach dieser Diskussion der Bildortabhängigkeit in den aus 800 m aufgenommenen Luftbildern werden im folgenden die Auswertergebnisse der IRC-Hasselbladaufnahme aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. (Tab. 26) sowie die graphischen Darstellungen (Abb. 41 und 42) vorgestellt. Sie zeigen eindeutig, daß die bildortabhängige Variabilität der Texturmerkmale bei den Luftbildern aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. sehr gering oder in den meisten Fällen überhaupt nicht vorhanden ist. Diese Aussage beschränkt sich auf die Laubholzbestände, da eine solche Untersuchung für Nadelholztypen nicht durchgeführt werden konnte. Es ist aber bei diesem kleinen Bildmaßstab auch bei den Nadelholzbeständen dasselbe Resultat zu erwarten. Im Hinblick auf die gröbere Textur der Nadelholzbestände ist es jedoch nicht ausgeschlossen, daß bestimmte Texturparameter dieser Bestände in den Bildern dieses kleinen Maßstabs noch eine ganz minimale Bildortabhängigkeit zeigen.

Die Texturanalyse an Hand von Luftbildern und Multispektral-Aufzeichnungen unterschiedlicher Maßstäbe (siehe 7.2) zeigten, daß die Texturen der Untersuchungsobjekte mit zunehmender Flughöhe texturärmer werden und daß auf dem kleinsten hier untersuchten Maßstab, d.h. bei den Aufnahmen aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. kaum Texturen und Texturunterschiede zu erkennen waren. Diese

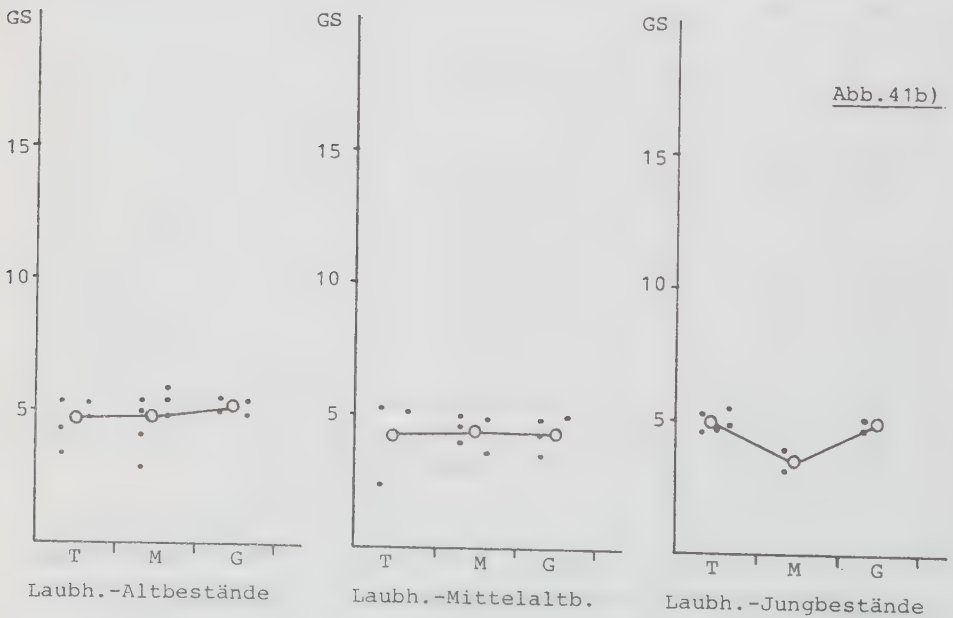
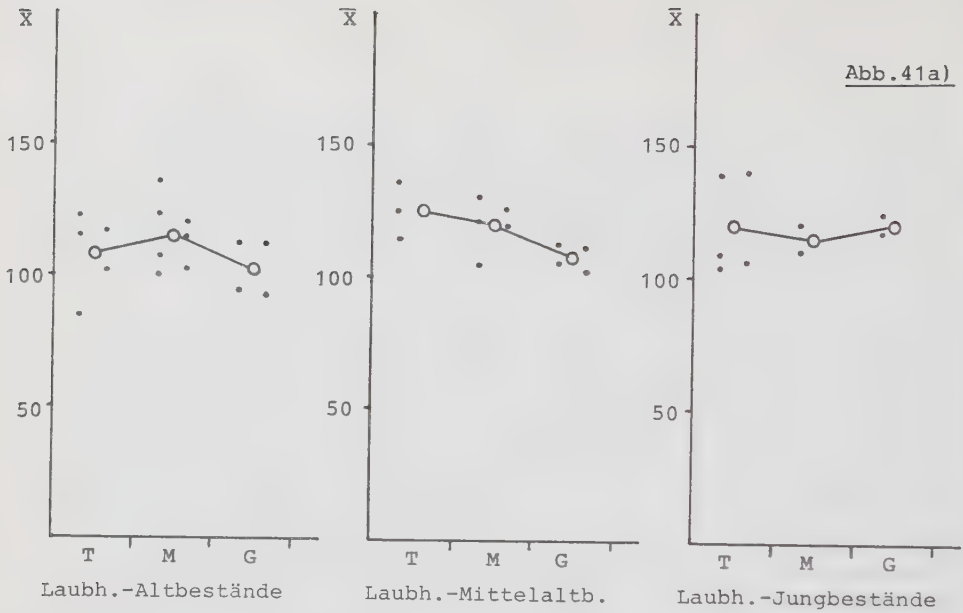


Abb.41: Graphische Darstellungen der Bildortlagen in Abhängigkeit von
a) dem Intensitätsmittelwert ($\bar{X}$),
b) der Grauwertschwankung (GS)
IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca.4000 m ü.G.

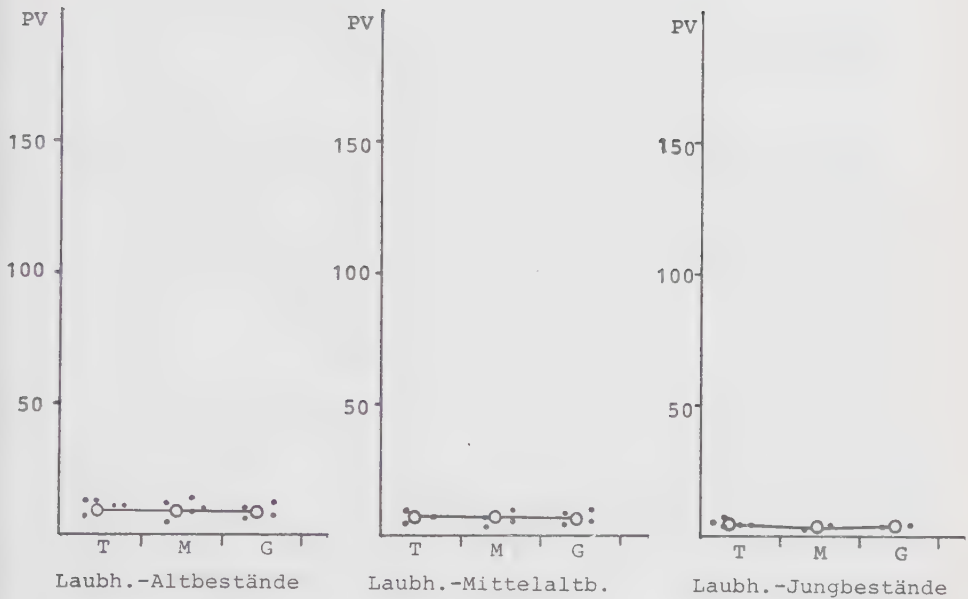


Abb.42: Graphische Darstellungen der Bildortlagen in Abhängigkeit von dem Pearson'schen Variationskoeffizienten (PV), IRC-Aufnahmen, Flughöhe ca.4000 m ü.G.

Texturabnahme der abgebildeten Objekte und die soeben beschriebene Abnahme der Bildortabhängigkeit von Texturmerkmalen mit zunehmender Flughöhe stehen in einer sehr engen Korrelation zueinander.

Für Texturanalysen und für Auswerteverfahren, die Texturmerkmale als Erkennungsparameter einbeziehen, ergibt sich daraus ein Dilemma:

Wünschenswert sind für diese Fälle Luftbilder bzw. andere Fernerkundungsaufzeichnungen, die einerseits texturreich sind, an-

dererseits aber keine oder nur geringe Bildortabhängigkeit der Texturparameter aufweisen. Ersteres erfordert möglichst großmaßstäbige, letzteres möglichst kleinmaßstäbige Bilder bzw. Aufzeichnungen.

Es wäre also für praktische Verfahren wie auch für Texturanalysen ein Kompromiß bezüglich des Aufnahmemaßstabs zu finden. Das Ergebnis der Aufnahme sollten Bilder mit ausreichend vorhandener Textur und noch deutlichen Texturunterschieden, aber auch mit nur geringen Bildortabhängigkeiten jener Texturen sein. Offensichtlich ist weder der große Bildmaßstab, den die Aufnahme aus 800 m ü.G. ergab, noch der recht kleine Maßstab der aus 4000 m Höhe aufgenommenen Bilder für Auswerteverfahren, die sich auf Texturmerkmale stützen, besonders geeignet. Die Untersuchung der Bildortabhängigkeit in den Hasselbladbildern, die aus 2200 m Höhe aufgenommen wurden, ist nicht erfolgt. Dennoch kann man in Würdigung aller Ergebnisse der Texturanalysen und der Untersuchungen der Bildortabhängigkeit annehmen, daß Luftbilder mit einem Maßstab, wie er sich aus den Aufnahmen aus 2200 m Höhe ergab, dem oben angesprochenen Kompromiß nahe kommen werden. Diese Aufnahmen verbinden noch ausreichende Differenzierungen der Texturen mit einer Bildortabhängigkeit dieser Texturen, die zweifellos deutlich geringer sein wird, als sie in den aus 800 m aufgenommenen Bildern angetroffen wurde, -auch wenn sie die Unabhängigkeit vom Bildort, so wie man sie in den 4000-m-Bildern fand, nicht erreichen wird.

Eine Untersuchung zur Analyse der Bildortabhängigkeit an Hand der multispektralen Scanneraufzeichnungen wurde nicht durchgeführt. Die Untersuchungen von Reichert 1976 zeigen aber ähnliche Tendenzen. Reichert hatte ähnliche Objekte (Kiefernbestände) in unterschiedlicher Lage im Scannerstreifen untersucht und konnte dabei feststellen, daß hier auch erwartungsgemäß ein Ansteigen der Intensitätsmittelwerte im Mitlichtbereich zu erkennen ist. Aber nicht zu erwarten war die Intensitätszunahme im Gegenlicht-

bereich (vgl. Reichert 1976).

7.31 Einige Vorschläge zur Minderung der bildortabhängigen Variabilität der Texturmerkmale.

Bekanntlich wirkt das Phänomen "Bildortabhängigkeit" als ein Störfaktor auf die Texturmerkmale verschiedener Objekte. Hierdurch treten beträchtliche Schwankungen der Merkmalsvariationen innerhalb der Objekte gleicher Arten auf. Als Folge davon sind Fehlklassifikationen zu erwarten bzw. nicht auszuschließen. Die folgenden Vorschläge können zur Minderung der bildortabhängigen Variation der Texturmerkmale führen:

1) Bei prinzipieller Bevorzugung von Senkrechtaufnahmen sollten Texturuntersuchungen bzw. Texturauswertungen im Zuge operativer Verfahren möglichst auf den Bildmittenbereich beschränkt werden. Auf alle Fälle sollte vermieden werden, die Texturuntersuchungen in unterschiedlichen bzw. wechselnden Bildbereichen durchzuführen.

2) Abschwächung der Variation durch den Abtastvorgang der abgebildeten Objekte.

"Testet man das Bild entlang paralleler Linien ab, wechselt der entsprechende Querschnitt eines Objekts je nach dessen räumlicher Ordnung. Beim "Scanner" in konzentrischen Kreisen um den Bildmittelpunkt dagegen verändert sich der jeweilige Objektschnitt weit weniger" (Schade 1976).

3) Es ist durchaus möglich, durch Voruntersuchungen am gegebenen Bildmaterial für die zu untersuchenden Objekte Korrekturfaktoren zu ermitteln, die zur Verminderung der bildortabhängigen Variation führen können. Solche Korrekturzahlen lassen sich aus den durchschnittlichen Differenzzahlen der untersuchten gleichen oder ähnlichen Objekte in verschiedenen Bildortlagen des glei-

chen Bildmaterials errechnen.

- 4) Wichtig ist die Wahl eines geeigneten Maßstabs (s.o.), um einerseits die bildortabhängige Variation zu vermindern und andererseits die Auflösung des Aufnahmemaßstabs so optimal zu erhalten, daß noch deutliche Texturen und Texturunterschiede bei den untersuchten Objekten zu erkennen sind.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Im letzten Jahrzehnt sind große technologische und wissenschaftliche Fortschritte auf dem Gebiet der Fernerkundung zu verzeichnen. "Neben das Luftbild traten andere Systeme der flächenhaften Aufzeichnung elektromagnetischer Wellen, neben das Flugzeug traten Satelliten und Raketen als Träger der Aufnahmegeräte, neben den Möglichkeiten des Empfangs von reflektierten Lichtwellen entstanden operationelle Systeme für den Empfang und die Aufzeichnung der Wärmestrahlen, von Strahlen aus dem UV- und dem Mikrowellenbereich; zu den klassischen Methoden der Bildinterpretation durch sachkundige Menschen gesellten sich computergestützte, digitale Auswerteverfahren, Bildmanipulationsmethoden, die Möglichkeiten multispektraler Bildmischung" (Hildebrandt 1976).

Die erwähnten Fortschritte brachten eine Reihe von Konsequenzen für die Auswertung von Luftbildern und anderen Fernerkundungsaufzeichnungen mit sich:

- 1) Die Luftbilder und andere Fernerkundungsaufzeichnungen wurden für zahlreiche neue Fachrichtungen zugänglich gemacht (vgl. Kapitel 1) und zur Lösung neuer Inventur- und Beobachtungsaufgaben herangezogen.
- 2) Aus den o.s. Gründen steigt die Anzahl der anfallenden Luftbilder und anderer Fernerkundungsaufzeichnungen ständig an. Die vollständige Auswertung der genannten Bild- und Datenmaterialien durch herkömmliche analoge Bildauswertemethoden ist kaum noch möglich.
- 3) Ferner ist zu erwähnen, daß die hochauflösenden Luftbilder wesentlich mehr Primärinformationen enthalten als bisher mit herkömmlichen analogen Methoden an Informationen ausgeschöpft werden könnte.

"Ein einziges Farbluftbild vom Format 23 x 23 cm kann mehr als acht Milliarden Einzelinformationen enthalten" (Haefner 1974).

Bei multispektralen Aufnahmeformen und insbesondere auch bei nichtphotographischen Fernerkundungsaufzeichnungen ist die Fülle der Primärinformationen ebenfalls sehr groß.

Die genannte Primärinformation liegt dabei im Luftbild in Form von Dichtewerten, Grauton- oder Farbtonwerten bzw. bei nichtphotographischen Aufzeichnungen in Form von Intensitätswerten für den jeweils kleinsten auflösbaren Bildpunkt vor. Unbeschadet des Umstandes, daß diese Primärinformation noch in Sachinformation umgesetzt werden muß (Vorgang der Interpretation), ist es naheliegend, digitale Bildauswertung zur Bewältigung dieser Informationsmasse in Erwägung zu ziehen.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche digitale Bildverarbeitung ist die Texturanalyse und eine darauf aufbauende automatisierte oder in einem interaktiven Prozeß erfolgende Erkennung typischer (wiederkehrender) Texturen spezifischer Objekte.

Mit Fragen der Texturanalyse beschäftigte sich die vorliegende Arbeit. Sie ist damit der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Fernerkundung und speziell der digitalen Bild- bzw. Datenauswertung zuzuordnen. Die im Kapitel 5 ausführlich diskutierten Texturparameter wurden hier daraufhin untersucht, ob und inwieweit es möglich ist, an Hand von bestimmten Texturmerkmalen forstwirtschaftlich relevante Waldtypen nach Art und Altersklasse zu trennen, und ferner welche Einflüsse dabei der Sensor, der Bildmaßstab und der Bildort auf die Texturmerkmale der Waldbestände haben.

Zu diesem Zweck wurden als Untersuchungsobjekte Laub- und Nadelholzbestände im Freiburger Raum ausgewählt (vgl. Kapitel 4.2). Als Luftbildmaterial wurden IRC-Hasselbladaufnahmen Maßstab

1 : 10 000 und 1 : 50 000 und panchromatische Hasselbladaufnahmen Maßstab 1 : 22 000 sowie multispektrale Scanneraufzeichnungen (CCT-Bänder) unterschiedlicher Maßstäbe verwendet (vgl. Kapitel 4.1).

Die experimentellen Arbeiten erfolgten mit Hilfe des digitalen Bildauswertesystems im FIM Karlsruhe (vgl. Kapitel 4.5). Die Analyse der Auswerteergebnisse der Untersuchungsbestände (vgl. Kapitel 7.1 bis 7.3) erbrachten die folgenden Fakten:

- Deutliche Unterschiede zwischen mehreren Texturparametern der Laub- und Nadelholzbestände sind in groß- und auch in mittelmaßstäbigen Bildern bzw. Aufzeichnungen festzustellen. Die Variation der Texturmerkmale und damit die Texturerkennbarkeit ist bei den Nadelholztypen größer als bei den Laubholztypen und bei den Altbeständen größer als bei den Jungbeständen.
- Die Farbfilterung erbrachte in allen Fällen eine Verbesserung der Ergebnisse. So konnte z.B. eine eindeutige Trennung zwischen den einzelnen Altersklassen des gleichen Waldtyps an Hand der neutralen Filter nicht erzielt werden. Bei den Laubholzbeständen wurde die Unterscheidung der einzelnen Altersklassen durch Verwendung eines grünen Filters möglich. Beim Nadelholz war eine Differenzierung nach Altersklassen mit einem blauen Filter am besten herzustellen. Hier erbrachten aber auch die Filterung in anderen Farben brauchbare Ergebnisse.
- Bei den Differenzierungen nach Waldtyp und Altersklasse nahm die Trennkraft der einzelnen Texturparameter wie folgt ab:
Pearson'scher Variationskoeffizient
Standardabweichung
Histogramm
Arithmetischer Mittelwert
Densitogramm
Grauwertschwankung

Länge der hellen Stellen
Anzahl der hellen Stellen

- Bei gleicher Flughöhe vermittelt die photographische Aufnahme erheblich mehr Textur- und damit Erkennungsinformation als die Scanneraufzeichnungen.
- Die Texturinformation und damit die Erkennbarkeit und die Differenzierung der verschiedenen Objekte nehmen mit zunehmender Flughöhe rapide ab.
- Die Trennung der Waldtypen war in den Luftbildern aus der Flughöhe ca. 2200 m gut möglich. Dagegen war eine solche Trennung bei den Scanneraufzeichnungen aus der Flughöhe ca. 2200 m nur noch bedingt oder gar nicht möglich.
- Texturinformationen sind in Luftbildern aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. noch vorhanden. Dagegen belegte die Abbildung 33 einen sehr erheblichen Verlust an Texturinformation bei den Scanneraufzeichnungen aus der Flughöhe ca. 4000 m ü.G. Das Densitogramm zeigt einen fast geradlinigen und weitgehend undifferenzierten Verlauf.
- Von den großmaßstäbigen und auch noch von den mittelmaßstäbigen Scanneraufzeichnungen enthalten die der Kanäle 8, 9, 10 des Bendix-Scanners, d.h. die im nahen Infrarot aufzeichnenden Kanäle die meisten Texturinformationen. Unter den Kanälen des sichtbaren Lichtbereichs vermittelte der Kanal 4 (grün) noch befriedigende Texturinformationen.
- Die Texturen aller Untersuchungsobjekte zeigten eine starke Bildortabhängigkeit. Die bildortbedingte Variation der Texturmerkmale war bei den Nadelholztypen größer als bei Laubholztypen, sie war ferner bei Altbeständen stärker ausgeprägt als bei den Jungbeständen. Die Bildortabhängigkeit der Texturmerkmale nimmt mit zunehmender Flughöhe stark ab.

Mit diesen Ergebnissen und den daraus zu ziehenden Folgerungen sollte ein Beitrag zur Verbesserung der Kenntnis bezüglich der Übermittlung von Texturinformation in Fernerkundungsaufzeichnungen geleistet werden. Die Arbeit führte dabei zu einer Reihe von neuen Erkenntnissen und belegte einige bisher nur empirisch vorhandene. Sie weist sicher auch den Weg zu weiterführenden Untersuchungen.

9. LITERATURVERZEICHNIS

- ACKERL, F.: Photogrammetrie mit Infrarot- und Farbemulsionen.
Österr. Zeitschr.f.Vermessungswesen; 56. Jg.,
Nr. 5/6, Wien, 1968.
- AKÇA, A.: Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarz-Weiß-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der photographischen Textur.
Diss. Freiburg, 1970.
- ALBERTZ, J.: Sehen und Wahrnehmen bei der Luftbildinterpretation.
Bul 39, S. 25 - 34, 1970.
- ALBERTZ, J.: Gestaltpsychologische Fragen in der Luftbildinterpretation.
Berichte des III. Int. Symp. f. Photointerpretation, Dresden, 1970, S. 589 - 598.
- ALBERTZ, J.: Über die Methode der Luftbildinterpretation.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975.
- ALEKSEEV, V.E. und BELOV, S.V.: Spetralnaja otrazatel'naja sposobnost'drevnych porod i drugich obektov aerofotos - emki zapadnoj ukrainy.
(Das spektrale Reflexionsvermögen von Baumarten und anderen Luftaufnahmeobjekten in der westlichen Ukraine).
Trud. Lëb. Aeromet.; Izd. Akad. Nauk SSSR, Moskau-Leningrad, Nr. 10, 1960, S. 105 - 122.
- AL-HOMAID, N.: Untersuchungen zur Möglichkeit der Erkennung und Klassifizierung von Brachflächen in Luftbildern.
Diss. Freiburg 1978.
- ANDERSON, J.R.: Land use classification schemes used in selected geographic applications of Remote Sensing.
PE., Vol. 37, 1971, S. 379 - 388.
- AVERY, T.EUGENE: Interpretation of aerial photographs.
Second Edition, 1968, Minnespolis, Minn.
- BÄHR, H.P.: Vom Satellitenbild zur Reihenmeßkammer-Aufnahme: Das Jadegebiet im Vergleich unterschiedlicher Sensoren.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. - 31. August 1977, S. 59 - 69.

- BARGEL, B.: Nutzeranalyse zur Fernerkundung in der BRD mit Bewertung der digitalen Bildverarbeitung.
FIM, Karlsruhe März 1975.
- BARGEL, B.: Analog-optische und digital-elektrische Bildverarbeitung.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975,
S. 57 - 72.
- BARGEL, B.: Interaktive Bildverarbeitung.
FIM, Karlsruhe Februar 1976
- BARGEL, B.: Verfahren der digitalen Bildverarbeitung zur Texturanalyse von Fernerkundungsdaten.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm,
DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. bis 31. Aug. 1977,
S. 371 - 378.
- BAUMANN, H.: Forstliche Luftbildinterpretation.
Schriftenreihe der Landesforstverwaltung.
Baden-Württbg., Bd. 2, Tübingen-Bebenhausen 1957.
- BAUMBERGER, K.: Klassifikation von landwirtschaftlichen Kulturen auf Farb- und Schwarzweißluftbildern mit Hilfe von Densitometermessungen und Computer.
Diss. Uni Zürich, Phil. Fak. II, 1969.
- BEITRÄGE FÜR DIE FORSTWIRTSCHAFT: Luftbilddanwendung DDR, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Inst. f. Forstwissenschaften Eberswalde, 4. Jahrgang III/1970.
- BOLLE, H.J.: Grundlagen der Fernerkundung.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975,
S. 1 - 9
- BOLLE, H.J.: Physikalische Grundlagen der Fernerkundung.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975,
S. 11 - 24.
- BROCK, G.C.: Physical aspects of air photography.
London, 1952.
- CAZABAT, CH.: L'interprétation des Photographies aériennes.
Bull. Soc. Franç. Photogr. Bd. 36. St. Mandé 1969.
- CORTEN, Ir.F.L.: Physik des Luftbildes in "richtigen" und "fälschen" Farben.
Bul., 35, 1966, S. 191 - 201.
- DITTEL, R.H., J. BODECHTEL UND R. HAYDN: Klassifizierung multispektraler Daten mit Hilfe digitaler Verfahren.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975,
S. 179 - 203.

- DJAWADI, K.: Eine photogrammetrische Methode zur digitalen Erfassung und Charakterisierung der Oberflächen-gestalt von Waldbeständen.
Diss. Freiburg, 1977.
- DÖRFEL, H.-J.: Phänologie als Einflußgröße für die Fernerkundung verschiedener Vegetationsformen.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. bis 31. Aug. 1977, S. 319 - 330.
- DOVERSPIKE, G.E., F.M. FLYNN UND R.C.HELLER: Microdensitometer applied to land use classification.
FE., Vol. 31, 1965, S. 294 - 306.
- FERNANDEZ, S., KRITIKOS, G. UND SCHROEDER, M.: Regressionsanalyse von multispektralen Bilddaten verschiedener Wald-typen.
Remote Sensing in Forestry; Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress, Oslo 21.-26. June 1976, S. 183 - 190.
- FISCHER, W.: Zur Signifikanz von spektralen Signaturen bewachse-ner Oberflächen im Bereich 400 - 1100 Nanometer.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. bis 31. August 1977, S. 427 - 437.
- FORSTEINRICHTUNGSWERK: Gemeindewälder Kaiserstuhl, Wasenweiler, Bötzingen, Gottenheim.
Forstamt Breisach, Stand 1969.
- FORSTEINRICHTUNGSWERK: Stadtwald Freiburg i.Br.,
Forstamt Freiburg, Stand 1970.
- FRANCIS, D.A.: Possibilities and Problems of Radar Image Interpre-tation for Vegetation and Forest Types.
Remote Sensing in Forestry; Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress, Oslo 21.-26. June 1976, S. 79 - 86.
- GALLOWAY, M.M.: Texture analysis using grey level run lengths.
Computer Graphics and Image Processing,
Vol. 4, PP. 172 - 179, June 1975.
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. UND SCHROEDER-LANZ: Luftbildauswertung, Teil I, II und III.
Hochschultaschenbücher 358/358 a und 367/367 a,
Mannheim/Wien/Zürich, 1970.
- GOLDSTEIN, A. UND A.ROSENFELD: Optical correlation for terrain types discrimination.
PE., Vol. 30, 1964, S. 639 - 646.

- HAEFNER, H., H. MAURER, J. SCHOEDLER, R. GFELLER: Zur automatischen Messung und Registrierung von Schwärzungsverteilungen und Texturen.
Bul. 41, 1972, S. 173 - 182.
- HAEFNER, H.: Wenn der Computer Bilder anschaut. Interpretation von Luftbildaufnahmen.
Zeitschr. Bild der Wissenschaft, Autoren-Sonderdruck 1974.
- HARALICK, R.M., K. SCHANMUGAM, AND I. DINSTEN: Textural Features for Image Classification.
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC - 3, No. 6, pp 610 - 621, Nov. 1973.
- HAYDN, R., BODECHTEL, J. UND DITTEL, R.H.: Analog/digitale Verarbeitung multispektraler Daten.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975, S. 573 - 589.
- HELBIG, H.: Untersuchung von Luftbildern landwirtschaftlicher Kulturen.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29.- bis 31. August 1977, S. 287 - 294.
- HELLER, R.C.: Aerial remote sensing research in forestry.
Proc. Soc. of American Foresters, Detroit, Mich., 1965, S. 162 - 168.
- HILDEBRANDT, G.: Der Stand der forstlichen Luftbildauswertung für die Forsteinrichtung und Forstvermessung.
Arch. Forstw. 1956, S. 126 - 152.
- HILDEBRANDT, G.: Entzerrung oder Stereoauswertung forstlicher Luftbilder.
Forstwirtschaft im Dienst der Praxis.
München, Basel, Wien 1961, S. 266 - 277.
- HILDEBRANDT, G.: Bibliographie des Schrifttums auf dem Gebiet der forstlichen Luftbildauswertung 1887 - 1968.
Freiburg 1969.
- HILDEBRANDT, G.: Luftbilder für Zustandserfassung und Planung in der Forstwirtschaft.
AFZ, Heft 35, 25. Jahrgang, August 1970.
- HILDEBRANDT, G.: Stereophotogrammetrische Höhenmessungen.
AFZ, Heft 35, 25. Jahrgang, August 1970.
- HILDEBRANDT, G.: Informationen aus Luftbildern.
Sonderdruck aus Freiburger Universitätsblätter, Heft 42, Freiburg, Nov. 1973.

- HILDEBRANDT, G.: Zum Einsatz von Erderkundungssatelliten für supranationale Inventuren der Wälder und landwirtschaftlichen Nutzflächen.
Sonderdruck aus Raumfahrtforschung, Heft 4, Juli/August 1973.
- HILDEBRANDT, G.: Thermal-Infrarot-Aufnahmen zur Waldbrandbekämpfung
Sonderdruck aus "Forstarchiv", 47. Jahrgang, Heft Nr. 3, März 1976, S. 45 - 52.
- HILDEBRANDT, G.: Die spektrale Reflexionseigenschaft der Vegetation
Remote Sensing in Forestry, Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress Oslo 21.-26. Juni 1976, S. 9 - 22.
- HILDEBRANDT, G. UND KENNEWEG, H.: Vegetationsschädigung und ihre Erkennung im Luftbild.
AFZ, Heft 35, 25. Jahrgang, August 1970.
- HILDEBRANDT, G. AND HELLER, R.C.: The implication of remote sensors for forestry research and practice.
XV IUFRO congress, Proceedings Rapport du Congrès, Tagungsbericht, Gainesville, Florida, USA, March 14 - 20, 1971, S. 165 - 172.
- HILDEBRANDT, G. UND DJAWADI, K.: Digitale Beschreibung der Oberflächenstruktur von Waldbeständen nach photogrammetrischen Messungen.
Remote Sensing in Forestry, Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress, Oslo 21.- 26. June 1976, S. 471 - 485.
- KADRO, A. UND W. FISCHER: Neue Ergebnisse von Reflexionsmessungen in situ an Vegetationsbeständen.
Remote Sensing in Forestry, Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress Oslo 21. - 26. June 1976, S. 23 - 35.
- KAZMIERZAK, H. UND HOLDERMANN, F.: The Karlsruhe System for automatic photointerpretation.
Pictorial Pattern Recognition, 1, 1968, S. 195-205.
- KENNEWEG, H.: Die Verwendung von Farb- und Infrarot-Farb-Luftbildern für Zwecke der forstlichen Photo-Interpretation unter besonderer Berücksichtigung der Erkennung und Abgrenzung von Kronenschäden in Fichtebeständen.
Diss. Freiburg 1972.
- KENNEWEG, H.: Die Bedeutung von Fernerkundungsverfahren für Inventuren von Wäldern und Vegetationsbeständen.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975, S. 405 - 418.

- KESSLER, R.: Eine quantitative Texturuntersuchung von Bildobjekten auf verschiedenen Filmen in zwei Flughöhen und Beurteilung der verwendeten Parameter.
Diplomarbeit Freiburg 1978.
- KHARIN, N.G.: Spectral reflectance characteristics of the U.S.S.R., main trees species.
Symposium IUFRO - Subject - Group Remote Sensing, Freiburg 1973, S. 1 - 20.
- KILCHENMANN, A.: Klassifikation von landwirtschaftlichen Kulturen auf Farb- und "False-Color" - Luftbildern mit Hilfe von Densitometermessungen und Computer.
Semesterarbeit am Geogr. Inst. der Universität Zürich 1965.
- KLESEN, G.: Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit von Plantagen- und Spalierpflanzungen durch digitale Auswertung von an Infrarot-Farbluftbildern mittels Densitometer gemessenen Textur- und Farbparametern.
Diplomarbeit, Freiburg 1976.
- KOMMITTEN FÖR SKOGLIG FOTOGRAOMETRI: Tolkning av Flygbilder.
Stockholm 1955.
- KRITIKOS, G.: Einige Verfahren der digitalen Bildverarbeitung.
Bul., 39, 1971, S. 242 - 252.
- LEHMANN, G.: Photogrammetrie.
Sammlung Göschen, Band 1188/1188 a, Berlin 1969.
- MASUMY, S.A.: Holzvorratsermittlung mit Hilfe der Luftbilder.
Diplomarbeit, Freiburg 1974.
- MASUMY, S.A. UND HILDEBRANDT, G.: Analyse der Textur als Erkennungsparameter zur Identifizierung von Waldtypen.
Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR-DGPF, TU Hannover vom 29. bis 31. August 1977, S. 307 - 317.
- MASUMY, S.A. UND HILDEBRANDT, G.: Der Einfluss von Sensor, Bildmaßstab und Bildort auf die Texturmerkmale von Waldbeständen.
ISP + IUFRO Symposium, International Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment, Freiburg 2. - 8. July 1978.
- MAURER, H.: Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit landwirtschaftlicher Kulturen im farbigen Luftbild, gezeigt am Beispiel der Landnutzung im nordostschweizerischen Raum.
Diss. Universität Zürich, 1965.

- MEIENBERG, P.: Die Landnutzungskartierung nach Pan-. Infrarot- und Farbluftbildern.
Münchner Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie, Regensburg, Bd. 1, 1966.
- MEYER-EPPLER, W., DARIUS, G.: Die Autokorrelation von ebenen zweidimensionalen Bildvorlägen.
NTF 3, 1956, S. 40 - 46.
- MEYER-EPPLER, W.: Zur Theorie der optischen Zeichenerkennung.
Nachrichtentechn. Zeitschr., 14, 1959, S. 30-32.
- MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum und Umwelt.
Band 2, Freiburg, 1971.
- NAKAJIMA, I. UND K.HASEGAWA: A study on photo density measurement of some forest types.
Bull. Government Forest Experiment Station Nr. 14-
Tokyo, 1962, S. 31 - 49.
- NAKAJIMA, I.: Photo densit measurements of some forest types.
Repr. Journ. Japan Society of Photogrammetry,
Spec.Vol. 1, 1964.
- NAKAJIMA, I.: A vertical section survey of the tropical forest on Nunukan Island by air-photo-densit-measurement.
Government Forest Experiment Station of Japan,
1965.
- PERLWITZ, W.: Meßinterpretation von forstlichen Bestandesdaten auf Luftbildern und die Möglichkeit ihrer Automatisierung.
Beitr. Forstw. III, Bd. 4, 1970, S. 51 - 54.
- PERLWITZ, W.: Die Anwendung elektronischer Luftbildabtastverfahren zur Bestimmung von forstlichen Bestandesdaten.
Berichte des III. Int. Symp. für Photointerpretation, Dresden, 1970, S. 805 - 814.
- Proden, M.: Forstliche Biometrie.
München, Bonn, Wien, 1961.
- RABENAU, G.: Holzarteninterpretation aus Luftbildern mit statistischer Prüfung des Einflusses von Film und Maßstab.
Diss. Hochschule für Bodenkultur, Wien, 1969.
- RAY, R.G. UND W.A.FISCHER: Quantitative Photography, a geologic research tool. PE., Vol. 27, 1960, S. 143 - 150.
- REICHERT, P.: Vegetationskundliche Auswertung multispektraler Scanneraufzeichnungen.
Remote Sensing in Forestry, Proceedings of the Symposium held during the XVI. IUFRO World Congress, Oslo 21. - 26. June 1976, S. 191 - 202.

- REICHERT, P.: Einsatzmöglichkeiten des Multispektralscanners für land- und forstwirtschaftliche Inventuren. Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. - 31. August 1977, S. 331 - 344.
- RIB, H.T. UND MILES: Automatic interpretation of terrain features. PE., Vol. 35, 1969, S. 153 - 164.
- RICHTSCHEID, P.: Klassifizierung agrarischer Landnutzung mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden. Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. - 31. August 1977, S. 281 - 286.
- ROHDE, H.: Untersuchungen zur Erkennung von Vitalitätsunterschieden an Kiefern durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern. Diss. Freiburg 1977.
- ROSENFELD, A.: Automatic recognition of basic terrain types from aerial photographs. PE., Vol. 28, 1962, S. 115 - 132.
- ROSENFELD, A.: An approach to automatic photographic interpretation. PE., Vol. 28, 1962, S. 660 - 665.
- ROSENFELD, A.: Automatic imagery interpretation. PE., Vol. 31, 1965, S. 240 - 242.
- SCHADE, J.: Untersuchung der Abhängigkeit verschiedener durch digitale Auswertung von Infrarot-Farbluftbildern gewonnener Texturparameter von Bildort und Relief. Diplomarbeit, Freiburg, 1976.
- SCHMIDT-FALKENBERG: Zur Theorie der Bildauffassung und zur Methodik der Photointerpretation. Archives Internationales de Photogrammétrie. Vol. XVI, Paris 1967.
- SCHNEIDER, K.H.: Möglichkeiten der Fernerkundung zur Bestimmung von Nährstoffversorgung, Krankheits- und Schädlingsbefall an landwirtschaftlichen Kulturen. Berichte zum Symposium Flugzeugmessprogramm, DFVLR.DGPF, TU Hannover vom 29. - 31. Aug. 1977, S. 295 - 305.
- SCHNEIDER, S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Berlin, New York 1974.
- SCHÖEDLER, J.R.: Landnutzungsinterpretation mit Hilfe farbiger Luftbilder im Unterwallis. Diss. Zürich, 1973.

- SCHROEDER, M.: Missionsdefinition für ein erdwissenschaftliches Flugzeugmessprogramm.
DFVLR, Oberpfaffenhofen, April 1974.
- SCHWIDEFSKY, K.: Grundriß der Photogrammetrie.
Stuttgart, 1963.
- SPEIDEL, G.: Planung im Forstbetrieb.
Freiburg, 1971.
- SPÜRR, S.H.: Aerial photographs in forestry.
New York, 1948.
- STEINER, D.: Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern, gezeigt am Beispiel des schweizerischen Mittellandes.
Schr. Folge Inst. Landeskd., Bundesanst. Landeskd. u. Raumforschung, Bad Godesberg, 1961.
- STEINER, D.: Eine einfache Methode der Reflexionsmessung im Gelände und ihre Anwendung bei Problemen der Landnutzungsinterpretation von Luftbildern.
Bul., 29, 1961, S. 123 - 133.
- STEINER, D.: Zur Technik und Methodik der Landnutzungsinterpretation von Luftbildern.
Ber. z. Deutschen Landeskd., Bd. 29, 1962, S. 99 - 130.
- STEINER, D.: Automation in photo-interpretation.
Berichte des III. Internat. Symp. für Photogramme
Dresden, 1970, S. 717 - 730.
- STEINER, D., H. MAURER UND A. KILCHENMANN: Quantitative Auswertung von Farb-Luftbildern zur Identifizierung landwirtschaftlicher Kulturen.
Bul., 34, 1966, S. 47 - 56.
- SWANSON, L.W.: Photogrammetric Surveys for nautical charting use of color and infrared Photography.
PE., 1960, S. 137 - 141.
- TROLL, G.: Fortschritte der wissenschaftlichen Luftbildforschung.
Zeitschr. Gesch. Erdkd., 7, 1943, S. 277 - 331.
- TZSCHUPKE, W.: Untersuchung zur automatischen Identifizierung forstlich bedeutsamer Bildgestalten durch digitale Auswertung von an Infrarot-Farbluftbildern gemessenen Farb- und Texturparametern.
Diss. Freiburg, 1974.

- VELTEN, E. UND GILG, W.: Anforderungen an operationelle Satelliten zur Fernerkundung der Erde und Stand der Sensortechnik.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975, S. 591 - 607.
- VÖIGER, K.: Erste Erfahrungen mit einem digitalen Multispektral-Scanner.
Symposium Erderkundung, DFVLR.DGP, April 1975, S. 167 - 178.
- WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik.
Jena, 1967.
- WESZKA, J.S., DYER, C.R., ROSENFELD, A.: A Comparative Study of Texture Measures for Terrain Classification.
IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC - 6, No. 4, PP. 269 - 285, April 1976.
- WIECZOREK, U.: Der Einsatz von Äquidensiten in der Luftbildinterpretation und bei der quantitativen Analyse von Texturen.
München Geogr. Abhandl. Bd. 7, München, 1972.
- WOLFF, G.: Über Einsatzmöglichkeiten der Photometrie bei der Automatisierung der forstlichen Luftbildinterpretation.
Arch. für Forstw., Bd. 18, 1969, S. 669 - 683.
- ZSILINSZKY, VICTOR G.: Photographic interpretation of tree species in Ontario.
Department of Lands and Forests, Timber Branch, Ontario, 1963.

Lebenslauf

Am 7.4.1945 wurde ich, Said Alim Masumy, als Sohn des Said Masum und dessen Frau Bibigul, in Kabul/Afghanistan geboren. Von 1952 bis 1958 besuchte ich die Grundschole, von 1958 bis 1962 die Mittelschole und von 1962 bis 1965 die Oberschole in Kabul, wo ich 1965 das Baccalaureats-Examen in dem naturwissenschaftlichen Zweig bestand.

Von 1966 bis 1968 leistete ich ein vom deutschen Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und dem Baden-Württembergischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten organisiertes und bestätigtes Praktikum im Bereich der baden-württembergischen Landesforstverwaltung ab.

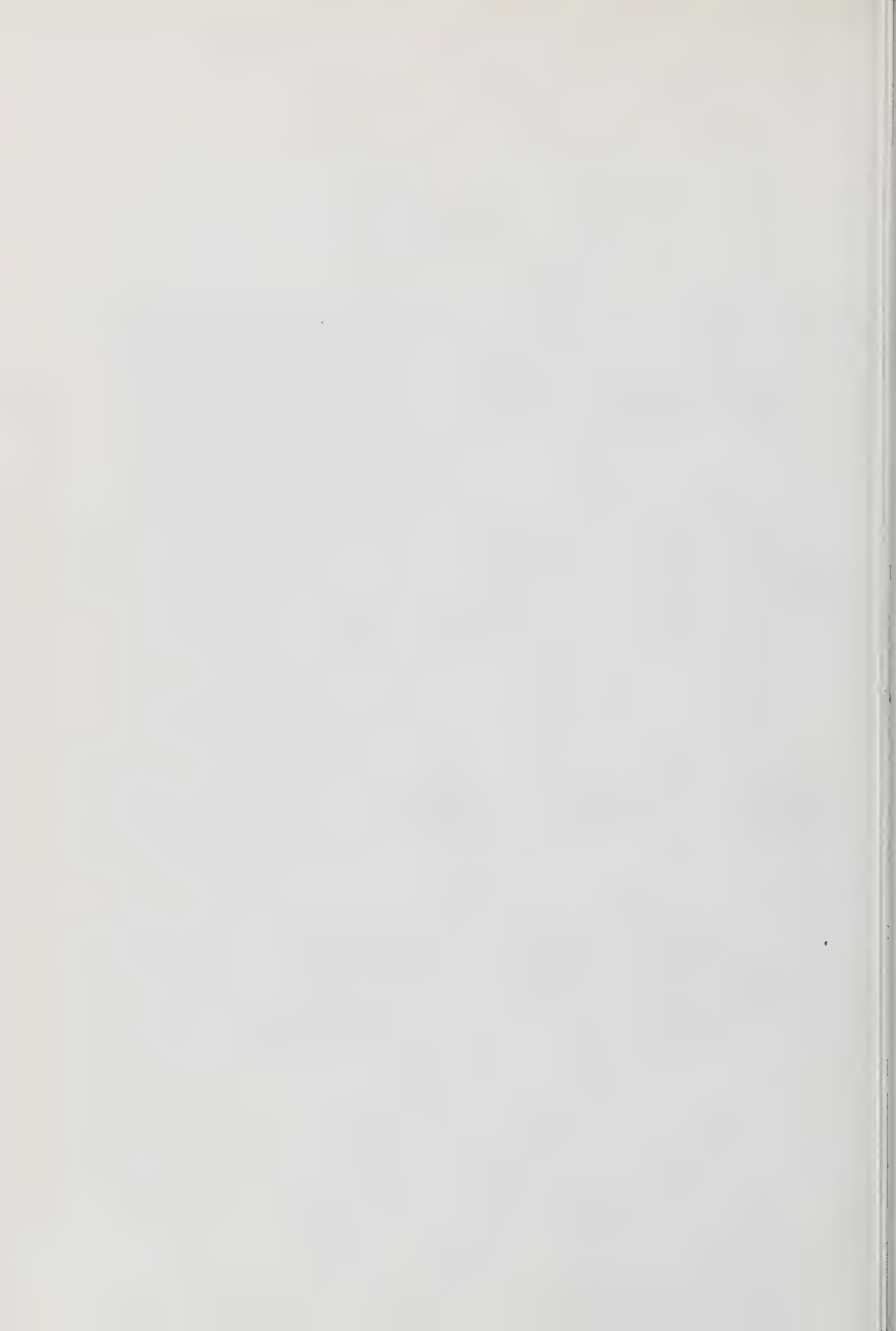
Vom Oktober 1969 bis Oktober 1970 besuchte ich das Studienkolleg in Heidelberg.

Vom Oktober 1970 bis Mai 1975 studierte ich an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. Im Sommersemester 1975 legte ich die forstwissenschaftliche Diplomprüfung mit Erfolg ab.

Seit Wintersemester 1975 arbeite ich als Stipendiat der Friedrich-Ebert-Stiftung und als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr. G. Hildebrandt in der Abteilung Luftbildmessung und -interpretation des Instituts für Forsteinrichtung und forstliche Betriebswirtschaftslehre der Universität Freiburg.

A N H A N G :

Topographische Karten 1 : 25.000



3401

02

03

L. Kr. 04 FREIBURG

Aus: Topographische Karte
1:25000
Freiburg/Br.-NW (7912)

5329

28

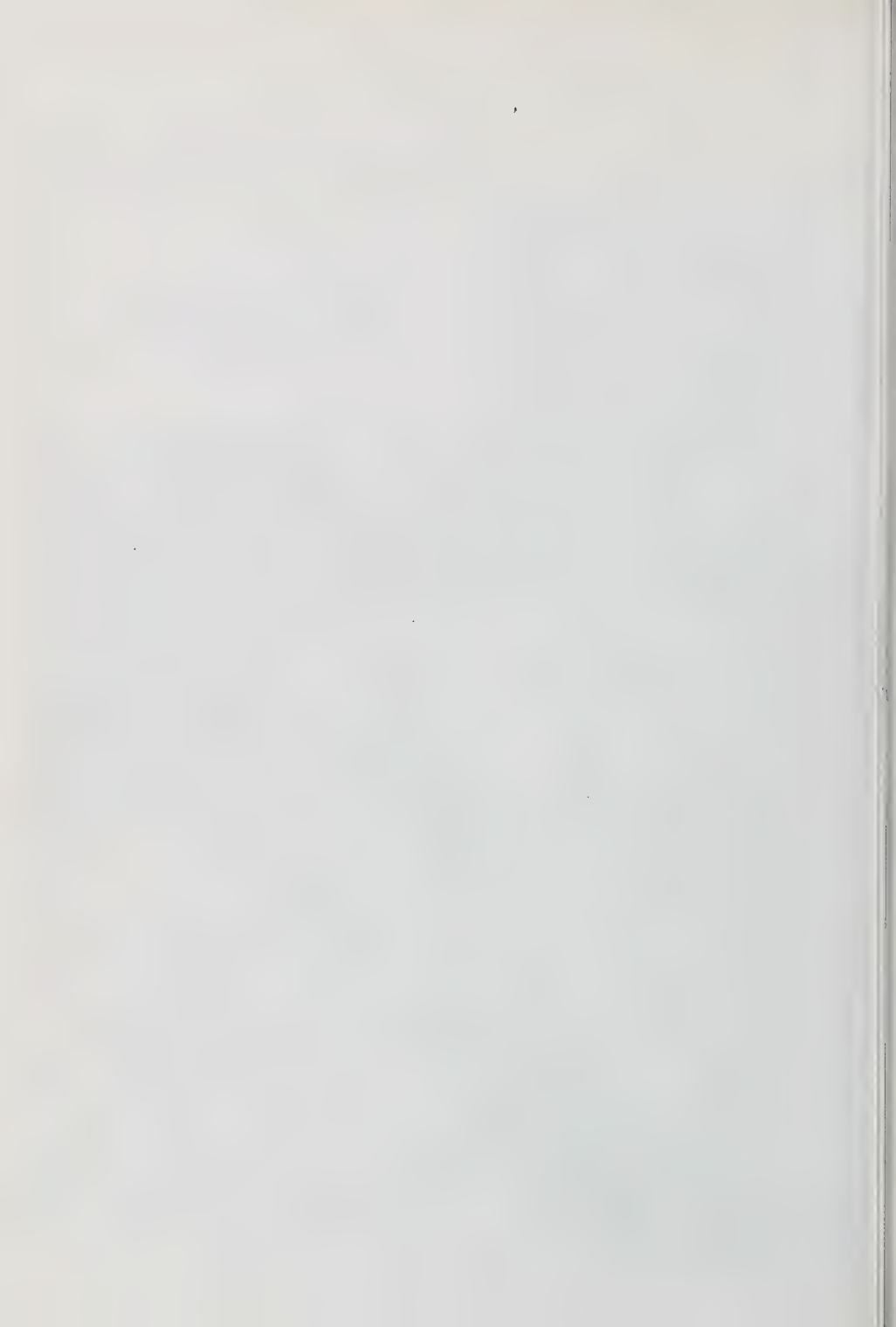
27

26

Kr. Freiburg

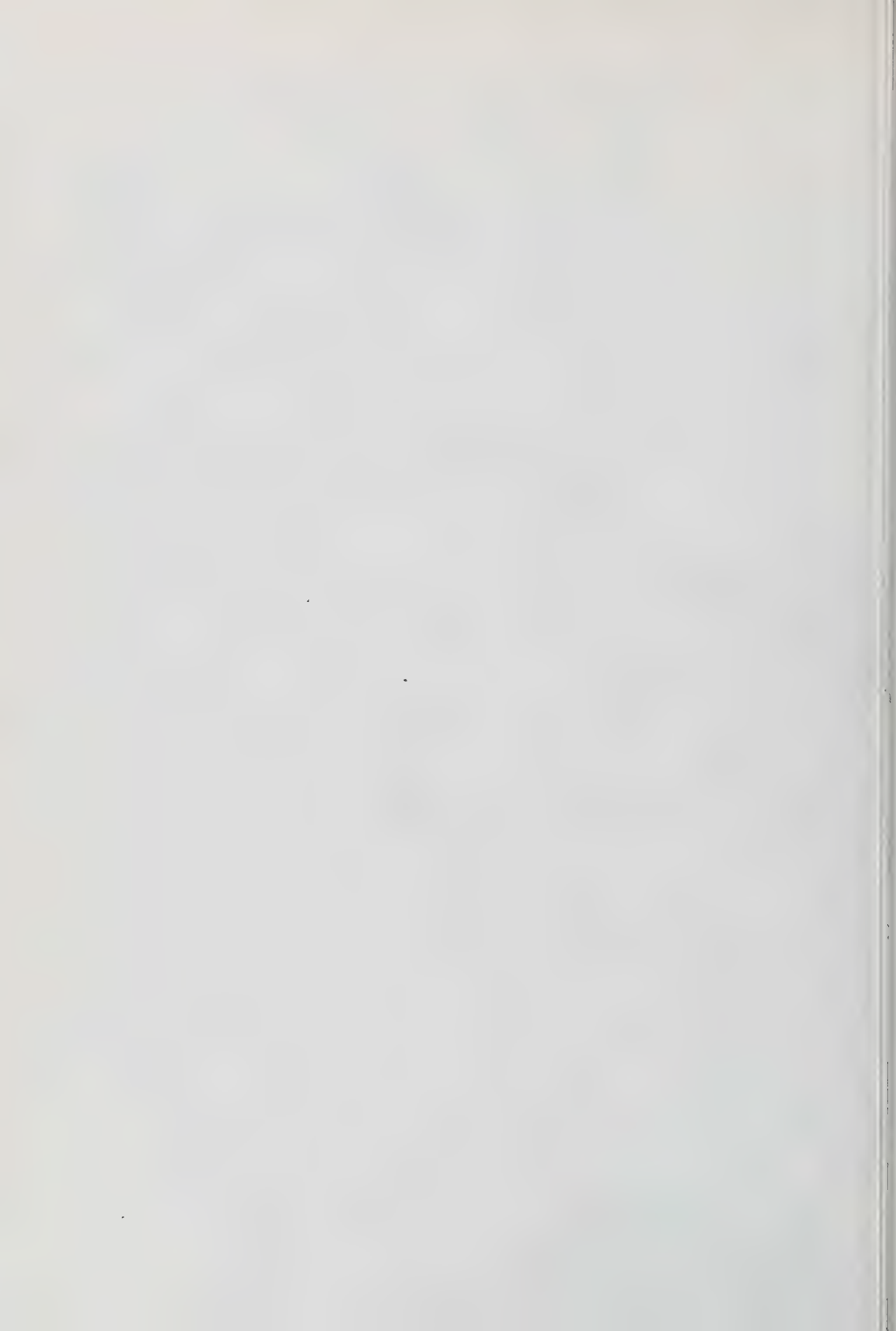
Wasenweiler

Gottenheim



Aus: Topographische Karte
1:25000
Freiburg/Br.-NW (7912)





FREIBURG
im Breisgau

WEHRE

Waldsee

Kittenweiler

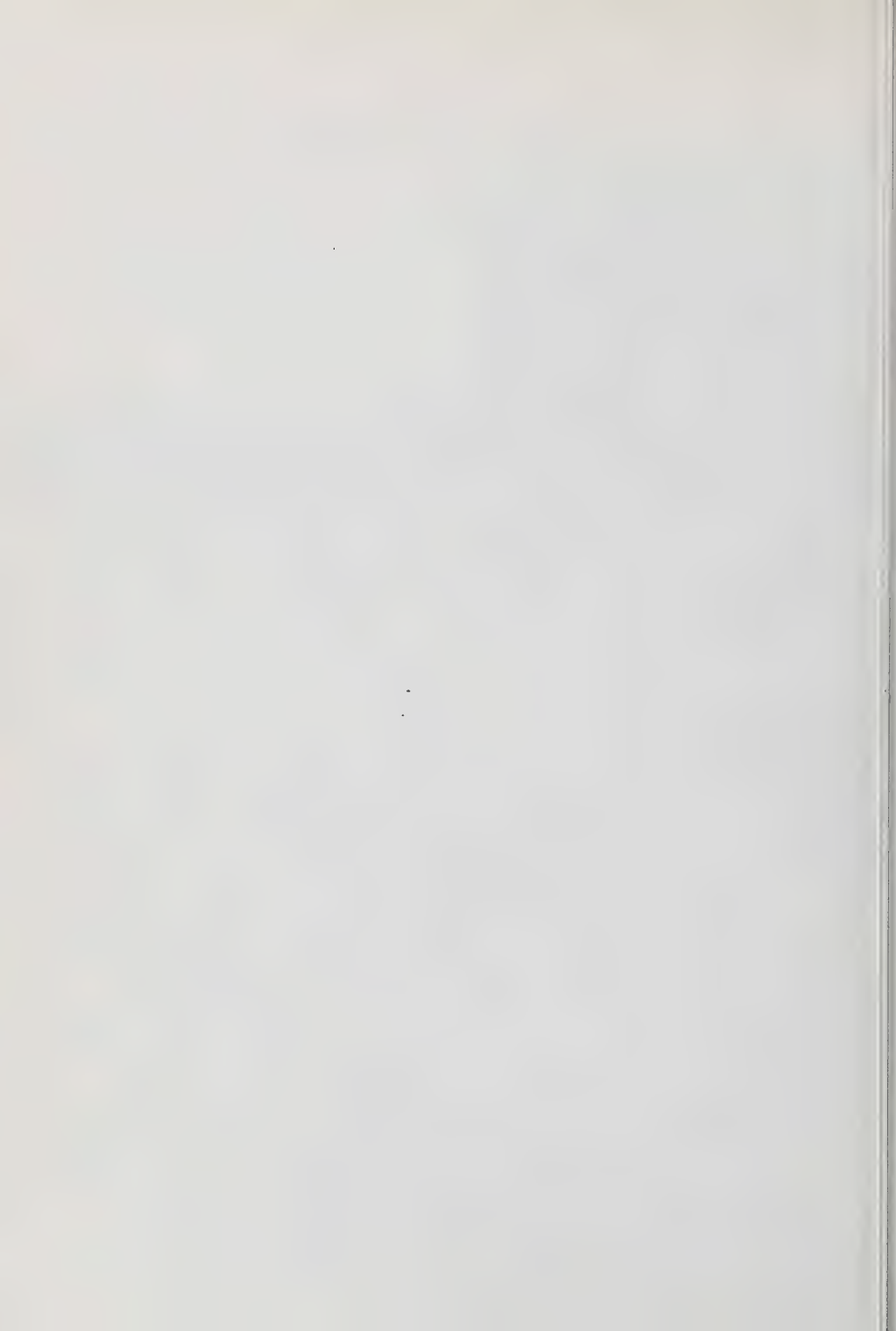
Günterstal

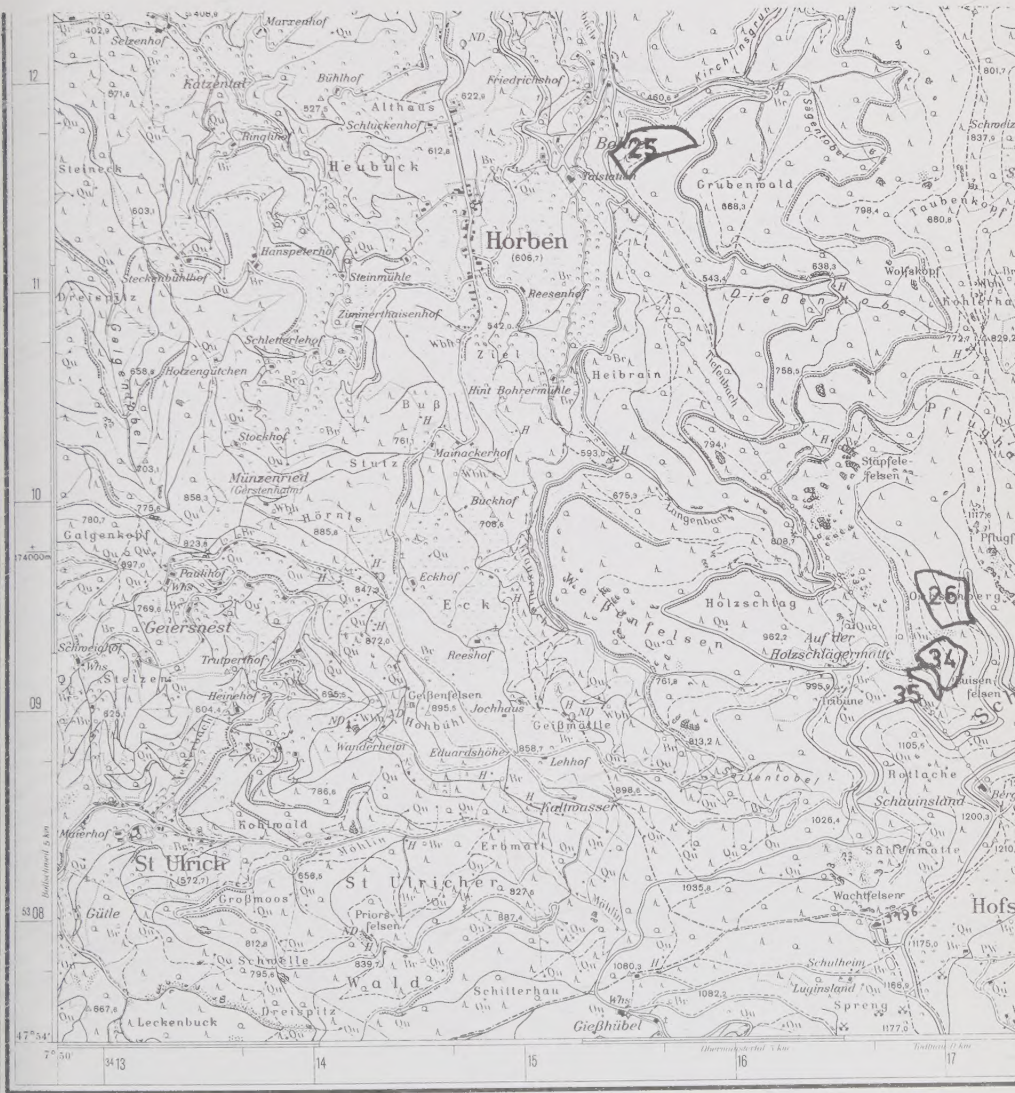
Langacker's

Merzhausen

Au

BOZEMAN, MONT. JULY 21, 1908





Aus: Topographische Karte
1:25000
Freiburg/Br.-SO (8013)

